

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ - TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA

Institut environmentálního inženýrství

VYUŽITÍ ODPADNÍCH PILIN Z VÝROBY LAMINOVANÝCH
DŘEVOTŘÍSKOVÝCH DESEK

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Autor práce: Bc. Aneta Pšenická

Vedoucí: Ing. Hana Škrobánková, Ph.D

Ostrava 2017

VŠB – TECHNICAL UNIVERSITY OF OSTRAVA
FACULTY OF MINING AND GEOLOGY
Institute of environmental engineering

**UTILIZATION OF WASTE SAWDUST FROM CHIPBOARD
PRODUCTION**

Master's thesis

Author: Bc. Aneta Pšenická

Supervisor: Ing. Hana Škrobánková, Ph.D

Ostrava 2017

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institút environmentálního inženýrství

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Aneta Pšenicová**
Studijní program: **N2102 Neroztné suroviny**
Studijní obor: **3904T005 Environmentální inženýrství**
Téma: **Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových desek**
Utilization of Waste Sawdust from Chipboard Production
Jazyk vypracování: **čeština**

Zásady pro vypracování:

1. Úvod a cíl práce
2. Charakteristika výroby a produktů firmy Kronospan
 - 2.1 Suroviny používané při výrobě dřevotřísek a laminovaných dřevotřísek
 - 2.2 Chování chemických látek a surovin během spalovacích procesů
 - 2.3 Popis vzorků
3. Energetické parametry pilin ze zpracování dřeva
 - 3.1 Charakteristika energetických parametrů
 - 3.2 Metody stanovení
4. Energetické metody využití odpadních pilin
 - 4.1 Zplyňování
 - 4.2 Pyrolýza
 - 4.3 Spalování
5. Charakteristika vedlejších produktů z energetického využití (VEP)
 - 5.1 Hodnocení VEP podle vyhlášky č.294/2005 Sb.
 - 5.2 Nakládání s VEP
6. Legislativa pro nakládání s odpady a bezpečnost
7. Zdravotní rizika
8. Doporučení a závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

MARCHETTI, P., MARCON, A., PESCE, G., GIRARDI, P. (2014): Children living near chipboard and wood industries are at an increased risk of hospitalization for respiratory diseases: A prospective study. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 217 (2014) 95–101.
TANG, X.Q., REN, Y.K., CHEN, R.Q., ZHUANG, Y.Y., FANG, H.R., XU, J.H., WANG, C.Y., HU, B., 2011. Formaldehyde induces neurotoxicity to PC12 cells involving inhibition of paraoxonase-1 expression and activity. *Clin. Exp. Pharmacol. Physiol.* 38, 208–214.
<http://www.bozpinfo.cz/pozame-technicke-charakteristiky-prachu-jejich-vyznam-v-technicke-praxi>
<http://www.ralskopelet.cz/comoznanevite.html>

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Hana Škrohánková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017



doc. Ing. Silvie Heviánková, Ph.D.
vedoucí institutu



prof. Ing. Jaroslav Dvořáček, CSc.
pověřený vedením fakulty

Prohlášení autora diplomové práce

- Celou diplomovou práci včetně příloh, jsem vypracovala samostatně a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu. Byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Souhlasím s tím, že diplomová práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence, je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne

Bc. Aneta Pšenicová

ANOTACE

V úvodu diplomové práce charakterizují výrobu a produkty firmy Kronospan. Dále jsou zde uvedeny suroviny a postup výroby dřevotřískových desek. Součástí toho jsou i výsledky zjištěné v laboratoři. Následující kapitoly jsou zaměřeny na energetické využití pilin. Zkoumají se jejich jednotlivé parametry a metody, které mohou být použity. Nakonec je uvedena legislativa a zdravotní rizika související s pilinami, výrobou dřevotřískových desek a jejich odpady. Závěrem je pak shrnutí výsledků diplomové práce.

Klíčová slova: spalování, zplyňování, pyrolýza, dřevotřísková deska, formaldehyd

SUMMARY

At the beginning of the thesis the production and products of the company Kronospan are described. Further, there are mentioned raw materials and the process for the production of particle board. This includes the results found in the laboratory. They examine their individual parameters and methods that can be used. Third part contains legislation and health risks associated with sawdust, the production of particle board and their wastes. In the end is a summary of the result of the thesis.

Keywords: combustion, gasification, pyrolysis, particle board, formaldehyde

Poděkování:

Ráda bych vyjádřila poděkování hlavně své vedoucí diplomové práce paní Ing. Haně Škrobánkové, Ph.D. za odborné vedení, konzultace a rady, které pomohly při vypracování této diplomové práce. V další řadě děkuji své rodině za podporu při studiu.

OBSAH

1 ÚVOD A CÍL PRÁCE	1
2 CHARAKTERISTIKA VÝROBY A PRODUKTŮ FIRMY KRONOSPAN.....	2
2.1 Suroviny používané při výrobě dřevotřísek a laminovaných dřevotřísek....	2
2.1.1 Výroba dřevotřískových a laminátových desek	3
2.1.2 Suroviny	6
3 ENERGETICKÉ PARAMETRY PILIN ZE ZPRACOVÁNÍ DŘEVA	10
3.1 Charakteristika energetických parametrů.....	10
3.1.1 Výhřevnost a spalné teplo	11
3.1.2 Popeloviny.....	13
3.1.3 Tavitelnost popela	14
3.1.4 Fixní uhlík.....	15
3.1.5 Obsah vody.....	16
3.1.6 Uhlík.....	16
3.1.7 Vodík.....	16
3.1.8 Kyslík	16
3.2 Metody stanovení	16
3.2.1 Kalorimetr LECO AC 350	18
3.2.2 Automatická termogravimetrická analýza (TGA).....	18
3.2.3 Spalovací pec CAF	19
3.3 Chování chemických látek a surovin během spalovacích procesů	20
3.3.1 Usazeniny popela na teplosměnných plochách kotlů	26
3.3.2 Majoritní složení odpadní dřevní biomasy (překližka a dřevotříska)...	29
3.3.3 Vodný výluh	30
4 ENERGETICKÉ METODY VYUŽITÍ ODPADNÍHO DŘEVA.....	32
4.1 Zplyňování	32
4.2 Pyrolýza.....	33
4.3 Spalování.....	35
5 CHARAKTERISTIKA VEDLEJŠÍCH PRODUKTŮ Z ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ (VEP).....	37
5.1 Hodnocení VEP podle vyhlášky č. 294/2005 Sb.	37
5.2 Nakládání s VEP	38

6	LEGISLATIVA PRO NAKLÁDÁNÍ S ODPADY A BEZPEČNOST.....	39
6.1	Požárně technická bezpečnost prachu a pilin.....	41
7	ZDRAVOTNÍ RIZIKA.....	43
7.1	Formaldehyd	43
7.1.1	Výskyt formaldehydu	44
7.1.2	Zdravotní rizika formaldehydu.....	45
7.2	Vliv dřevozpracujícího průmyslu na zdraví dětí žijících v jeho blízkosti .	46
8	DOPORUČENÍ A ZÁVĚR	49
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	51
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	59
	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
	SEZNAM TABULEK.....	61
	SEZNAM GRAFŮ	62
	SEZNAM PŘÍLOH.....	63

1 ÚVOD A CÍL PRÁCE

Dřevo patří do obnovitelných zdrojů energie. Díky svým dobrým vlastnostem je dřevo oblíbeným materiálem v mnoha zemích. Používá se při výrobě nábytku, ve stavebnictví, architektuře atd. Spolu s využíváním dřeva je také potřeba se věnovat otázce odpadů.

Během zpracování dřeva dochází přirozeně ke vzniku odpadů ve formě pilin, odřezků atd. Otázka dřevěného odpadu je v současnosti veřejné téma, které je velmi široce diskutováno. Každá domácnost produkuje dřevní odpad. Dřevěný odpad může být recyklován a znovu použit. Typickým zástupcem recyklovaného dřeva je dřevotříska. Dřevotřísku můžeme využívat např. při výrobě plovoucích podlah, stěn, stropních panelů, nábytků, nástěnek, kuchyňských linek a mnoho dalšího. Poté co byla zavedena výroba dřevotřískových desek, tak se zásadně změnil pohled na odpad, který dříve sloužil pouze energetickým účelům. V současnosti je využití odpadu k výrobě aglomerovaných materiálů nejrozšířenější variantou.

Během procesu recyklace a znovu využívání dřevěného odpadu je třeba brát v potaz uvolňování chemických látek. Některé tyto látky mohou být toxické, což představuje problém pro ovzduší (emise) a stejně tak pro člověka a životní prostředí. Při dodržování správných postupů při spalování a výrobě, pokud nedojde ke změně teploty nebo poklesu kyslíku, jsou tyto emise nižší.

Další otázkou, která souvisí s používáním recyklovaného odpadu ze dřeva (dřevotřísky) je požární bezpečnost.

Cílem diplomové práce bylo posoudit možnosti energetického využití odpadní biomasy (Engineering wood) a definovat problémy, které se při tomto využití mohou vyskytovat se zaměřením na emise organických sloučenin a dusíku a vzniku usazenin z kotlů.

2 CHARAKTERISTIKA VÝROBY A PRODUKTŮ FIRMY KRONOSPAN

Kronospan je globální společnost působící ve více než 40 zemích v Evropě, Asii a Americe a pracuje zde přes 14 000 zaměstnanců. Patří mezi přední výrobce OSB desek (oriented strand board - desky z plochých orientovaných třísek). Dále se zabývá výrobou a distribucí produktů jako jsou např. laminátové podlahy, dřevotřískové desky, polotvrdé dřevovláknité desky atd. V poslední době se také snaží společnost na trhu prosadit s produkty s nižším obsahem nebezpečného formaldehydu, které mají menší dopad na životní prostředí a zdraví člověka.

Kronospan se zabývá také produkcí speciálních a dekorativních papírů a dalších produktů souvisejících s hlavní výrobou jako jsou např. pracovní desky, melamino-formaldehydové panely stěnové panely, melamin-formaldehydové panely, vysokotlaké laminátové desky (HPL) a kompaktní desky. Společnost Kronospan věnuje velkou pozornost oblasti životního prostředí. Při výrobě panelů na bázi dřeva využívá mimo jiné odpadu (především pilin) z dřevozpracujícího průmyslu. Patří také mezi přední firmy zabývající se technickým rozvojem, díky kterému se snaží dosáhnout co nejvyššího výnosu z použitých vstupních materiálů. Výsledkem toho je nejen úspora nákladů, ale také snížení dopadu na životní prostředí. Při výrobě desek Kronospan využívá dřevo z ověřených lesů, které jsou certifikovány a obhospodařovány za tím to účelem, což zajišťuje obnovitelné a udržitelné zdroje. Ve spolupráci s dodavateli se Kronospan snaží minimalizovat vliv výroby a své produkce na všechny složky životního prostředí (voda, vzduch a půda). Napříč celým dodavatelským výrobním řetězcem se snaží o maximální recyklaci a dbá na to, aby dodavatelé nepoužívali dřevo z chráněných krajinných oblastí, národních parků a dalších chráněných území. Zabývá se také ukládáním a likvidací chemikálií, které jsou použity při výrobě, pomocí ekologicky šetrných metod (KRONOSPAN 2017).

2.1 Suroviny používané při výrobě dřevotřísek a laminovaných dřevotřísek

První dřevotřískové desky se začaly objevovat na konci čtyřicátých let minulého století. U nás pak zhruba o 10 let později. Zpočátku měly tyto desky velmi nízkou kvalitu, vyznačovaly se především rozdíly v tloušťce, nerovnostmi a rozlupčivostí. Postupem času

se díky zavádění nových technologií a procesů začala kvalita zvyšovat a tím rostla obliba používání tohoto materiálu (BÖHM, REISNER 2011).

2.1.1 Výroba dřevotřískových a laminátových desek

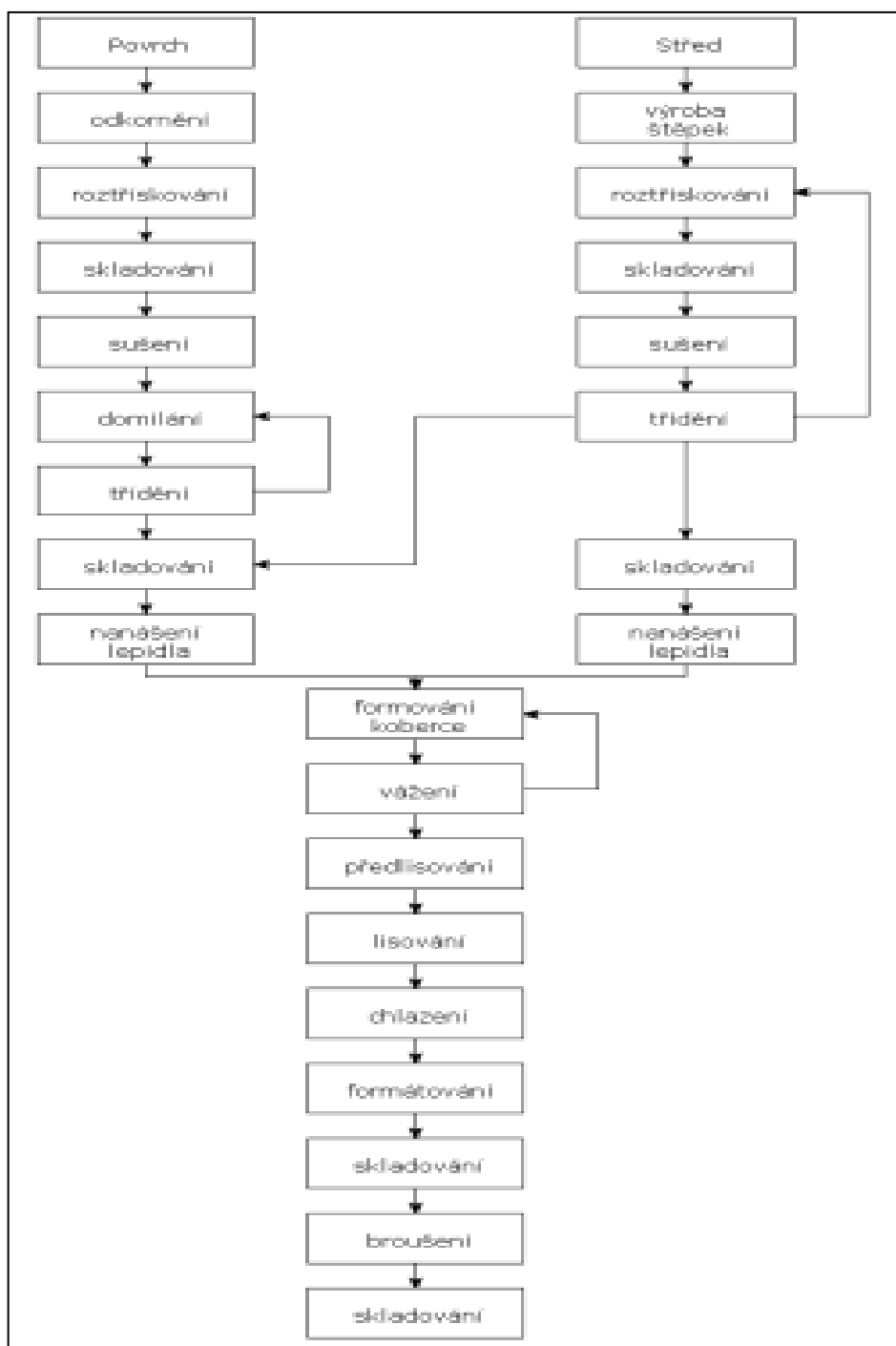
Rozdíl mezi dřevotřískovou a laminátovou deskou spočívá pouze v posledním kroku výroby, kdy se na dřevotřískovou desku navíc před lisováním přidá sulfidový papírek (viz popis níže).

Výroba dřevotřískových desek spočívá ve čtyřech základních krocích. Nejprve se připraví (vyrobí) třísky, které se následně upravují a nanáší se na ně lepidlo. Nakonec se takto připravený materiál slisuje. Podrobný proces výroby dřevotřískových desek je zobrazen v diagramu na obrázku č. 1 (BÖHM, REISNER 2011).

K výrobě dřevotřískových neboli třískových desek se používá zbytkové dřevo z různých typů odvětví, jako jsou například lesnictví (prořezávky a probírky), dřevozpracující (tyčovina, krajiny, pilařské odřezky, obrábění dřeva, třísky a štěpky), těžební zbytky. Dále můžeme k výrobě využít dřevo, které již bylo použito například jako palety, staré krovy, vyřazený nábytek nebo obaly. Hlavním přínos této výroby spočívá v tom, že je veškerý dřevěný odpad zpracován a znovu použit. Z tohoto použitého materiálu se vyrábí např. nábytek, podlahy, kuchyňské linky atd. (BÖHM, REISNER 2011; NUTSCH 2006; YANGA et al. 2007; WANG et al. 2008; WANG et al. 2007)

V první fázi výrobního procesu je nutné provést odkornění neboli zbavení dřeva kůry. Tento krok je důležitý, protože kůra zhoršuje mechanické a fyzikální vlastnosti a dochází následně k problémům při povrchových úpravách a laminování, protože vlivem vlhkosti bobtná. Taky obsahuje příměsi a látky (minerální, kovové), které otupují stroje. Nejčastěji se k odstranění kůry používá bubnový nebo rotorový odkornovač (BÖHM 2005).

V další fázi se v závislosti na použitém materiálu provede jednostupňové nebo dvoustupňové roztřískování. Při jednostupňovém se z materiálu dělají hned třísky a naopak u dvoustupňového dochází první k výrobě štěpky a následně pak k třískování. Štěpky se vyrábí za účelem lepšího skladování a snadnější manipulace. Štěpky se poté třídí, čistí, perou a zbavují se tak nečistot (písek, kamení atd.). Při roztřískování je třeba hlídat rozměry jednotlivých třísek a především pak poměr mezi délkou a tloušťkou třísky, neboť tato hodnota má vliv na kvalitu výsledné třískové desky (BÖHM, REISNER 2011; BÖHM 2005; INDRAK 2012).



Obrázek 1: Diagram výroby dřevotřískových desek (BÖHM 2005)

Někdy se pro zlepšení vlastností desek provádí domílání a egalizace přičemž vznikají mikrotřísky. Domíláním se mohou zpracovávat i piliny. Takto zpracované třísky

jsou velmi jemné. Vzhledem k tomu, že výroba mikrotřísek je energeticky velmi náročná, používá se na dřevotřískové desky pouze tenká vrstvička, která se nanáší na jejich povrch (BÖHM, REISNER 2011; BÖHM 2005; INDRÁK 2012).

V dalším kroku dochází k sušení třísek. Vlhkost třísek má rozhodující vliv na kvalitu. Nedostatečně vysušené třísky způsobují trhliny při lisování. Vlhkost také zapříčiňuje, že lepidlo se více vstřebá do třísek a tudíž dochází ke snížení pevnosti a tím i rozlupčivosti. Třísky se vysušují v bubnových sušárnách, kde jsou během krátké chvíle usušeny na vlhkost 2 až 3 %. Při sušení v sušičkách je důležité kontrolovat obsah kyslíků, který by neměl překročit 10 až 15 %, jelikož by hrozilo nebezpečí výbuchu. Z těchto důvodů jsou všechny sušárny povinně vybaveny analyzátory plynů (O_2 , CO) (BÖHM, REISNER 2011; BÖHM 2005; INDRÁK 2012).

Po sušení následuje třídění třísek. Třísky menší než 0,3 mm jsou z procesu vyřazeny, jelikož jsou považovány za prach. Dále se obvykle ve vibračních, pneumatických nebo síťových třídičkách oddělují jemné a hrubé třísky. Tyto třísky jsou dále přiváděny do nanášecího, kde se přidává lepidlo s různými přísadami (BÖHM, REISNER 2011; BÖHM 2005).

Nejčastěji používaná lepidla jsou močovinoformaldehydová pryskyřice (UF), v menší míře se pak používají fenolformaldehydová (PF) a melaninformaldehydová (MF) (INDRÁK 2012).

Poslední přípravnou fází před samotným lisováním je vrstvení třískového koberce. V této fázi se rozhoduje o výsledné tloušťce, rovnoměrnosti a dalších vlastnostech desky, které mají vliv na konečnou kvalitu (BÖHM, REISNER 2011; BÖHM 2005).

Takto připravený materiál postupuje dále k lisování. Základní faktory lisování jsou tlak a teplo, které působí po určitý čas na třískový koberec. Při správném působení uvedených faktorů dochází ke stlačení a fixaci třísek s lepícím materiálem. Nakonec se výsledný produkt ochladí a naformátuje na požadovanou velikost a zbrousí do konečné podoby (BÖHM, REISNER 2011; BÖHM 2005; NUTSCH 2006).

Pro zvýšení přidané hodnoty, jejich ochrany a zlepšení vlastností dřevotřískových desek se provádí různé povrchové úpravy. Mezi nejčastější úpravy patří:

- **Tmelení** - Nanášení vrstvy, pomocí které se vyrovnávají nerovnosti. Takto upravené desky je třeba znova vysušit.
- **Lakování** - Provádí se na povrch ošetřený tmelem.

- **Potisk** - Je to levná varianta, která dodává dřevotřískové desce dřevěný vzhled. Nanáší se na zatmelený povrch, který je ošetřený základovou barvou.
- **Laminování** - Sulfidové papíry pokryté pryskyřicí se pokládají na dřevotřískové desky a následně se provádí lisování působením teploty a tlaku (INDRÁK 2012).

Mezi výhody dřevotřískových desek patří:

- Při výrobě, lze použít i jiné zbytkové materiály obsahující lignocelulosové látky jako jsou například bambus, zbytky cukrové třtiny, len, konopí atd.
- Velkoplošnost (lze vyrobit desky různých velikostí).
- Izotropnost (nezávislost na směru např. štípaní).
- Možnost ovlivňovat mechanické vlastnosti a hustotu, povrchovou úpravu bez snížení kvality.
- Možnost recyklace (BÖHM, REISNER 2011).

Za nevýhody dřevotřískových desek lze považovat:

- Špatná odolnost vůči vlhkosti (nevhodný materiál do exteriéru).
- Nepřirozený vzhled, který neodpovídá dřevěným materiálům. Pro odstranění tohoto nedostatku a zlepšení odolnosti povrchu se používá dýhování, laminování nebo papírové a plastové polepy (BÖHM, REISNER 2011).

2.1.2 Suroviny

Základní surovinovou součástí při výrobě každé dřevotřískové nebo laminátové desky je:

- dřevní hmota (případně jiný lignocelulosový materiál),
- minerální pojivo,
- lepidlo,
- prostředky biocidní a sloužící k hydrofobizaci,
- retardéry hoření (NÁBYTKÁŘSKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM 2013).

Dřevní hmota a její součástí byly již zmíněny výše (např. prořezávky, krajiny, tyčoviny, atd.). Mezi další lignocelulosový materiál patří:

- **Bagasa** - Zbytek, který vzniká vylisováním cukrové třtiny. Představuje druhou nejvyužívanější surovinu pro výrobu dřevotřísky. Vyskytuje se především v tropických a subtropických oblastech (Kuba, Afrika a Asie). Bagasu je důležité řádně vysušit, jinak se může stát, že díky obsaženému zbytkovému cukru může začít hnit.
- **Stonky bavlníku** - Při řádném ošetření je jejich zdřevnatělá část vhodným materiálem k výrobě třískových desek, avšak často zůstávají na polích bez užitku a jsou spalovány.
- **Bambus a papyrus** - Jedná se o materiál, který především v rozvojových zemích, kde jde o dostupnou surovinu, má velký potenciál využití. Nevýhodou je, že tyto dlouhostonkové rostliny obsahují křemičitany, které zapříčiňují otupování nástrojů použitých k výrobě dřevotřísek. Díky svým vlastnostem a rozměrům se také často používají ve stavebnictví.
- **Sláma** - Tento materiál má při výrobě desek všestranné využití. Používá se pro výrobu vláknitých desek. V rozvojových zemích se vyrábí z rýžové slámy, která má ovšem nižší kvalitu než dřevěná, což je způsobeno menším obsahem ligninu. Dále je možno využít obilnou slámu na výrobu nosných a vnějších stěn a příček, kde se projevuje především její dobrá izolační schopnost. Na konečné vlastnosti slámy má vliv především půda, způsob hnojení a stupeň zralosti, který ovlivní i výsledný obsah ligninu a celulózy (NÁBYTKÁŘSKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM 2013).

Mezi **minerální pojiva** patří cement a sádra. Cement dále rozlišujeme na hydraulický a hořečnatý. U hydraulického cementu je pro ztvrdnutí důležité vázání vody. Není také vhodný pro druhy dřeva, které obsahují extraktivní látky (např. borovice, duby). Extraktivní látky působí jako inhibitory (zpomalovače), které zastavují nebo úplně zastavují proces tvrdnutí. I u druhů dřeva, které inhibitory neobsahují, je vhodné použít urychlovače tvrdnutí cementu (mineralizující látky). Těmito látkami mohou být například vodní sklo, chlorid vápenatý nebo hořečnatý. Naopak u hořečnatého (Solerova) cementu není druh dřeva důležitý, jelikož díky svému složení se vytvrdnutí dosahuje zvýšením

teploty. Rostoucímu významu, jakožto minerálnímu pojivu, nabývá v poslední době i sádra. Používá se při výrobě sádrokartonových a sádrotřískových desek. Kromě klasického způsobu získávání sádry ze sádrovce lze použít i sádru, která vzniká jako odpadní produkt tepelných elektráren (NÁBYTKÁŘSKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM 2013).

Hned po dřevní hmotě je lepidlo druhou nejdůležitější složkou pro výrobu dřevotřísky. Jak již bylo uvedeno výše, používají se především tři druhy lepidel (močovinoformaldehydová - UF, fenolformaldehydová -PF a melaminformaldehydová (MF)).

- **Močovinoformaldehydová lepidla (UF)** - Je to směs močoviny a formaldehydu, kdy pomocí chemických reakcí vznikají polymery. Výsledná směs je neutrální, nelze s ní tedy lepit, a proto ji musíme zředit (40 - 60 %) a přidat tvrdidla různých složení (např. chloridy - amonný a železitý, síran hlinitý, atd.), která změní pH a umožní tak lepidlu správně pracovat.
- **Fenolformaldehydová lepidla (PF)** - Jsou dražší a ke ztuhnutí je třeba alespoň 140°C. Vznikají reakcí fenolu (případně jeho homologů) a formaldehydu. Výhodou je především jeho snadná aplikace na třísky, díky tomu je potřeba menší nános lepidla při zachování vlastností. Další pozitivní stránkou jeho vliv na zdraví, především díky tomu, že na rozdíl od jiných lepidel neuvolňuje formaldehyd.
- **Melaminformaldehydová lepidla (MF)** - Především díky její vysoké ceně se používají pouze jako přísada spolu s dalšími pojivky. Výhodou těchto lepidel je jejich dobrá pevnost a odolnost vůči teplotám (taje při 354°C) a povětrnostním vlivům (BÖHM, REISNER 2011; NÁBYTKÁŘSKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM 2013).

Za běžných podmínek za působení vody a vlhkosti dochází k bobtnání dřeva a tudíž i třískových desek, což zhoršuje mechanické vlastnosti. Proto, aby se zachovala stálost a vlastnost desky se používají **hydrofobizační prostředky**. Díky těmto prostředkům se alespoň částečně při krátkodobém styku s vodou zabrání bobtnání. Nejčastěji se jako

hydrofobizační prostředek používá parafin v tekuté formě nebo jako přísada k lepidlům (NÁBYTKÁŘSKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM 2013).

Biocidní prostředky jsou látky, které se přidávají do dřevotřískových desek. Účelem těchto látek je ochrana desek před plísněmi, houbami, hmyzem a dalšími biologickými vlivy. Jako biocidní prostředek lze využít například kyselina boritá, fungicidy, fluorid sodný a vápenatý, směsi soli (mědi, bromu, chromu) a další (NÁBYTKÁŘSKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM 2013).

Dalšími příměsi, které se používají při výrobě dřevotřískových desek a které mají vliv na ohnivzdornost konečného produktu, jsou **retardéry hoření**. Retardéry se do dřevotřískových desek přidávají ve společné směsi s lepidlem. Při výběru retardéru je třeba dbát na to, aby byly rozpustné ve vodě, reagovaly dobře s lepidly a nezpomalovaly proces tvrdnutí. Při splnění těchto podmínek se bude výsledná koncentrace lépe nanášet na dřevotřískové desky (NÁBYTKÁŘSKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM 2013).

3 ENERGETICKÉ PARAMETRY PILIN ZE ZPRACOVÁNÍ DŘEVA

V níže uvedených kapitolách jsou blíže specifikovány sledované parametry jednotlivých prvků a vlastností spalovaných materiálů. Dále jsou zde uvedeny přístroje, pomocí kterých byla provedena analýza těchto zkoumaných vzorků.

3.1 Charakteristika energetických parametrů

K výrobě tepla se stále více využívá i biomasa ve formě tuhých alternativních paliv a tak je důležité zajistit jejich předepsanou kvalitu. Vlastnosti tuhých biopaliv lze sledovat prováděním laboratorních zkoušek a uváděním výsledků v certifikátech, které jsou přímo zaměřeny na stanovení jednotlivých fyzikálně-chemických vlastností biopaliva jak v přírodní formě, tak ve formě pelet či briket (KOTLÁNOVÁ 2010).

Laboratorní zkoušky jsou zaměřeny na stanovení dvou druhů parametrů: užitečných vlastností vztahujících se přímo ke spalování biomasy (obsah vody, obsah vodíku, obsah popela, stanovení výhřevnosti, obsah uhlíku) a faktorů ovlivňujících emise a životní prostředí (obsah síry, dusíku, chlóru, prchavé hořlaviny, těžkých kovů a dalších prvků) (KOTLÁNOVÁ 2010).

Pro posouzení vhodnosti spalování tuhého paliva – biopaliva v určitém typu spalovacího zařízení, nebo při vyhodnocení jakosti tuhého paliva, je zapotřebí znát především:

- obsah vody v původním palivu $W_{(M)}$ (% hm.);
- obsah popela v původním palivu A (% hm.);
- spalné teplo Q_S a výhřevnost Q (MJ.kg⁻¹);
- prchavou a neprchavou hořlavinu V_{daf} a NV_{daf} (% hm.);
- obsah veškeré síry v palivu S (% hm.);
- charakteristické teploty popela t_A , t_B , t_C (°C);
- spékavost popela;
- fyzikálně-mechanické vlastnosti.

Všechna tuhá paliva, která se vyskytují v přirozeném stavu, se skládají ze tří základních složek: z celkové vody, popelovin a hořlaviny. Toto složení lze vyjádřit vztahem:

$$W + C + H + O + S + N + A = 100\%$$

Kde: W, C, H, O, S, N, A jsou hmotnostní podíly veškeré vody, uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a popela v původní biomase [% hm.].

Biopaliva ve srovnání s palivy fosilními obsahují vysoký podíl kyslíku. Obsah kyslíku snižuje výhřevnost, zároveň však umožňuje lepší prohořívání spalných plynů, tedy nižší emise škodlivin do ovzduší (ANDERT et al. 2006).

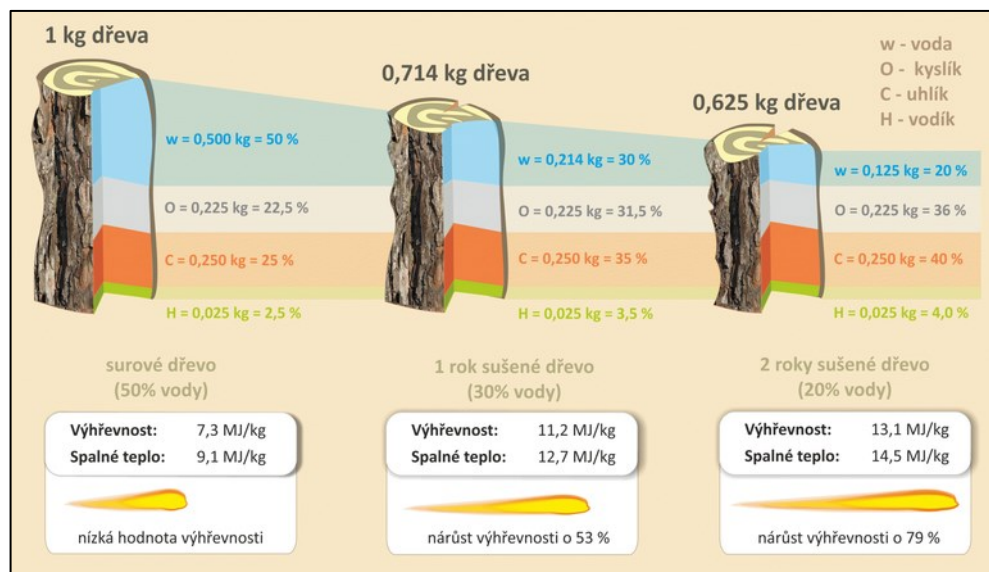
3.1.1 Výhřevnost a spalné teplo

Obsah vody v „živé“ biomase se u dřevin pohybuje od 60 %. Při takové vlhkosti je výhřevnost dřevin pouze 6 MJ/kg. Surovou biomasu je tedy třeba sušit, buď přirozeně, nebo uměle, aby jí bylo možné využít jako energetické palivo. Všeobecně je doporučena vlhkost biopaliv pod 30 %, ideální vlhkost, kterou lze dosáhnout běžným sušením (např. pod přístřeškem), se pohybuje do 20 %. Absolutně suchá biopaliva mohou dosahovat výhřevnosti kolem 18–19 MJ/kg (PASTOREK et al. 2004; JUCHELKOVÁ, RACLAVSKÁ 2009).

Z hlediska výhřevnosti rozlišujeme tvrdé a měkké dřevo. Tvrdé dřevo, díky svému vysokému obsahu ligninu má velmi dobrou výhřevnost srovnatelnou s uhlím. Ve srovnání s uhlím je však mnohem lepší z hlediska dopadu na životní prostředí a ekonomické nákladnosti. Jeho výhodou je také to, že je to obnovitelný zdroj. Zejména je vhodné používat tvrdé dřevo, když je toto dřevo dostatečně proschlé vyznačuje se velmi nízkým obsahem zbytkového popela. Tento popel je navíc vhodný k hnojení (LYČKA 2011).

Měkké dřevo ve srovnání s tvrdým má mnohem vyšší výhřevnost. Výjimku tvoří bříza, která svou výhřevností téměř odpovídá tvrdému dřevu (LYČKA 2011).

Výhřevnost a spalné teplo je závislé na době sušení dřeva, jak můžeme vidět na obrázku č. 2. S rostoucí dobou sušení se snižuje obsah vody a také hmotnost. Na druhou stranu se výhřevnost a spalné teplo zvyšuje.



Obrázek 2: Výhřevnost a spalné teplo v závislosti na době sušení (HORÁK et al. 2012)

Jehličnaté stormy mají díky tomu, že obsahují pryskyřici obecně vyšší výhřevnost než stormy listnaté. Pryskyřice je totiž tvořena převážně směsí uhlovodíků, které mají výrazně vyšší výhřevnost než celulóza nebo lignin (MURTINGER, BERANOVSKÝ 2011). Výhřevnost biopaliva v závislosti na vlhkosti je uvedena v tabulce č. 1.

Tabulka 1: Výhřevnost biopaliva v závislosti na vlhkosti (JUCHELKOVÁ, RACLAVSKÁ 2009)

Vlhkost (%)	Dřevo (MJ.kg ⁻¹)	Kůra (MJ.kg ⁻¹)
0	18,5	18,8
10	16,4	16,7
20	14,3	14,6
30	12,2	12,5
40	10,1	10,5
50	8	8,4
60	6	6,3

Podle EN 14961-6 se výhřevnost stanovuje výpočtem podle rovnice:

$$Q = [Q_s \cdot (100 - W/100)] - 0,02443 \cdot W$$

Spalné teplo a výhřevnost řeší normy ČSN ISO 1928 Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti, ČSN EN 15400 Tuhá alternativní paliva, ČSN EN 14918 (838214) Tuhá biopaliva.

Část energie uvolněné spálením paliva je spotřebována na odpaření vody, což snižuje hodnotu reálné výhřevnosti paliva (na odpaření 1 kg vody je zapotřebí 2,443 MJ energie).

Spalné teplo je záporně vzaté izobaricko-izotermické reakční teplo při dokonalém spálení jednotkového množství paliva s kyslíkem, jestliže v produktech hoření uvažujeme vodu ve skupenství kapalném. Rozlišujeme spalné teplo původního vzorku bezvodého (v hmotnosti zahrnut i popel) a spalné teplo hořlaviny (vztaženo pouze na hmotnost hořlaviny bez popela) (ANDERT et al. 2006).

Spalné teplo je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva na CO_2 , SO_2 , N_2 a kapalnou vodu H_2O . Spalné teplo se stanovuje laboratorně spálením zkušebního (analytického) vzorku v kalorimetru.

3.1.2 Popeloviny

Hoření je souhrnem exotermických reakcí hořlavých složek paliva a okysličovadla. Hořlavými složkami jsou u tuhých paliv uhlík (C), vodík (H_2) a síra (S), a souhrnně je označujeme jako hořlavina. Okysličovadlem je kyslík (O_2), který je přiváděn do ohniště (LYČKA 2011). Více se tématu hořlaviny a jejího rozdělení budeme věnovat v následujících kapitolách.

V palivu jsou kromě hořlavin obsaženy také minerály, které označujeme jako popeloviny. Tyto popeloviny jsou nehořlavou částí paliva. Při hoření probíhají chemické reakce, kdy dochází k přeměně minerálů na popel (tuhý minerální zbytek). Pokud dochází k nedokonalému spalování, roste s tím i množství popela. Část takto vniklého popela je mechanický nedopal, který vzniká nevyhořením části paliva, a dále jsou to saze, které vznikají při prudkém ochlazení hořících částic. Souhrnně tyto produkty nedokonalého spalování označujeme jako tuhé zbytky spalování (LYČKA 2011).

Popel, který vzniká spalováním biomasy, se vyznačuje vysokým obsahem kyselých a zásaditých oxidů. Poměr mezi kyselými a zásaditými oxidy má velký význam na tvorbu

strusky, jelikož čím je popel kyselejší, tím je menší riziko spečení nebo vytvoření strusky (LYČKA 2011).

Obsah popela se stanoví výpočtem z hmotnosti zbývající po spálení vzorku na vzduchu při řízené teplotě, za přesně stanovených podmínek po dobu zkoušky, hmotnost vzorku a specifikaci zařízení.

3.1.3 Tavitelnost popela

Norma ČSN ISO 540 (Uhlí a koks - Stanovení tavitelnosti popela) poskytuje informace o tání a chování při tavení anorganických složek popela při vysokých teplotách. Standardizovaná metoda je založena na metodě Segerova kužele.

Dále je dle této normy změna skupenství popela charakterizována čtyřmi teplotami:

- **Teplota deformace** – DT (deformation temperature): první příznaky zaoblení hrotu pozorovaného jehlanu.
- **Teplota měknutí** – ST (sphere temperature): je dolní mez intervalu tavitelnosti popela. Teplota, při které je výška a šířka základny pozorovaného jehlanu stejná.
- **Teplota tání** – HT (hemisphere temperature): je závislá na chemickém složení popela a na atmosféře v peci. Nachází se kdekoli v intervalu tavitelnosti popela. Pozorované těleso vytváří tvar přibližně polokoule, výška se rovná polovině průměru základny.
- **Teplota tečení** – FT (flow temperature): je horní mez intervalu tavitelnosti popela. Popel se rozteče na podložce ve vrstvě, jejíž výška je třetina výšky pozorovaného tělesa a má polokulovitý tvar (KUBÍČEK 2003, JEVIČ 2008).

Příklady charakteristických teplot popela při, kterých dochází ke změně skupenství, uvádí následující tabulka č 2.

Tabulka 2: Příklady teplot tavitelnosti popela (JEVIČ 2008)

Druh paliva	Teploty °C			
	Deformace DT	Měknutí ST	Tání HT	Tečení FT
Ječná sláma	659	783	923	1 118
Pšeničná sláma	612	767	1 044	1 257
Řepková sláma	633	665	1 452	1 460
Kukuřičná sláma	796	886	1 036	1 059
Pšeničné zrna	612	727	772	792
Smrkové dřevo	1 041	1 180	1 265	1 310
Hnědé uhlí	1 260	1 280	1 360	1 500

Teploty tání, měknutí a spékání se mohou mezi různými druhy biopaliv výrazně lišit. Tato charakteristika je zásadní při určování teploty spalování, aby se zabránilo struskování. Potenciál následného využití popela je ovlivněn mírou jeho znečištění a tím, do jaké míry je popel slinutý nebo roztavený. Některá paliva z biomasy jako je dřevo z demolic nebo dřevní kůra, obsahují také toxické kovy, včetně As, Cd, Cr, Cu, Pb a Hg. Informace o obsahu a množství těchto látek má zásadní význam pro využití popelových zbytků, jako i pro monitorování životního prostředí (OBERNBERGER et al. 2006, OBERNBERGER 1998).

3.1.4 Fixní uhlík

Z energetického hlediska je fixní uhlík nejvýznamnějším ukazatelem ovlivňující výhřevnost. Prchavá hořlavina se z paliva uvolňuje po jeho zahřátí a po jejím uvolnění zbývá fixní uhlík. Dohořívání fixního uhlíku napomáhá k udržení dostatečně vysoké teploty (HSI, KUO 2008).

Z energetického hlediska je fixní uhlík nejvýznamnějším ukazatelem ovlivňující výhřevnost. Biomasa je charakteristická nízkým obsahem fixního uhlíku oproti uhlí (HSI, KUO 2008; VOKATÝ 2011).

Fixní uhlík = neprchavý zbytek (pevně vázaný uhlík) – zbytek po odečtení obsahu vody, popela a prchavé hořlaviny (LYČKA 2011).

3.1.5 Obsah vody

Podobně jako popeloviny je voda nehořlavou složkou paliva, která snižuje jeho tepelnou hodnotu, a proto je v palivu nežádoucí. Obsah vody podstatně ovlivňuje výhřevnost. Protože bezvodá biomasa se v přírodě prakticky nevyskytuje, musí se vždy během spalování nebo zplyňování odpařit určité množství vlhkosti. Obsah vody v tuhých palivech kolísá v širokém rozmezí od 0 % do 60 % (SHARPLES et al. 2009; MALAŤÁK, VACULÍK 2008; MALAŤÁK et al. 2004).

3.1.6 Uhlík

Klíčovým parametrem z hlediska energetického využití je množství celkového organického uhlíku v palivu. Uhlík je hlavním nositelem tepelné energie ve spalovaném biopalivu. Buněčné stěny jsou velmi bohaté na uhlík, ve formě celulózy a ligninu. Čím tlustší je buněčná stěna, tím více uhlíku je v ní uloženo. Obsah uhlíku tvoří přibližně 45 % hmotnosti suché biomasy rostlin (MALAŤÁK et al. 2005; LIBRA, POULEK 2007).

3.1.7 Vodík

Dalším důležitým parametrem je vodík, který vyvine při hoření téměř čtyřikrát více tepla na jednotku hmotnosti než uhlík, což má příznivý vliv na výhřevnost spalovaného biopaliva (JURSÍK 2007).

3.1.8 Kyslík

Kyslík je v palivu nežádoucí, podílí se na vzniku hydroxidů. Biopaliva ve srovnání s palivy fosilními obsahují vysoký podíl kyslíku. Obsah kyslíku snižuje výhřevnost, zároveň však umožňuje lepší prohořívání spalných plynů, tedy nižší emise škodlivin do ovzduší (ANDERT et al. 2006).

3.2 Metody stanovení

Pro stanovení vlastností a složení jednotlivých zkoumaných materiálů byly použity přístroje dostupné na VŠB – TUO v laboratořích HGF a Centra ENET. Použité přístroje spolu s jejich charakteristikou jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

V tabulce č. 3 jsou uvedeny především normy k jednotlivým energetickým parametrům.

Tabulka 3: Metody stanovení energetických parametrů

Veškerá voda (W_t)	ČSN 441377 Tuhá paliva – Stanovení obsahu vody		
Obsah vody v analytickém vzorku	ČSN ISO 11722 Tuhá paliva – Černá uhlí – Stanovení vody v analytickém vzorku sušením v N_2		
Popel v sušině	ČSN ISO 602 Stanovení obsahu popelovin, ČSN EN 15403 Tuhá alternativní paliva – Stanovení obsahu popela		
Prchavá hořlavina v sušině	ČSN EN 15402 Tuhá alternativní paliva - Stanovení obsahu prchavé hořlaviny ČSN ISO 5071-1 Hnědá uhlí a lignity - Stanovení prchavé hořlaviny v analytickém vzorku ČSN ISO 562 Černá uhlí a koks – Stanovení prchavé hořlaviny	LECO TGA701	Ing. H.Škrobánková, PhD.
Fixní uhlík	Dopočetem z rozdílu $FC = 100 - VM$ - obsah popela		
Spalné teplo v sušině	ČSN ISO 1928 Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti ČSN EN 15400 Tuhá alternativní paliva – Stanovení spalného tepla a výhřevnosti	Kalorimetr LECO AC 350	Ing. H.Škrobánková, PhD.
Výhřevnost v sušině			
C v sušině	ČSN EN 15407 Tuhá alternativní paliva – Metody stanovení uhlíku, vodíku a dusíku. ČSN ISO 29541 Tuhá paliva - Stanovení obsahu veškerého uhlíku, vodíku a dusíku -		
H v sušině	Instrumentální metoda		
N v sušině			
S v sušině			
Stanovení spékavosti popela	ČSN ISO 540 Uhlí a koks - Stanovení tavitelnosti popela	CAF: Digital Coal Ash Fusibility Test Furnaces, Carbolite	Ing. H.Škrobánková, PhD.

3.2.1 Kalorimetr LECO AC 350

Spalné teplo vzorku je stanoveno přesným měřením tepla uvolněného ze vzorku řízeným spalováním v uzavřeném prostředí. Uvolněné teplo je úměrné výhřevnosti analyzovaného materiálu (obrázek č. 3).



Obrázek 3: Kalorimetr LECO AC 350

3.2.2 Automatická termogravimetrická analýza (TGA)

Termogravimetrická analýza vychází z hmotnostních úbytků vzorku v závislosti na narůstající teplotě v řízeném prostředí (inertní a oxidační). Slouží ke stanovení obsahu popelovin v palivu, prchavé hořlaviny a fixního uhlíku (dopočtem). Přístroj TGA 701, můžeme vidět na obrázku č. 4.



Obrázek 4: přístroj TGA 701

3.2.3 Spalovací pec CAF

Díky tomuto přístroji (obrázek č. 5) se stanovuje tavitelnost popela. Tavitelnost a tání popela patří mezi důležité fyzikální charakteristiky popela, které dokážeme určit analýzou při zvyšující se teplotě za specifických podmínek. Teploty tavitelnosti popela jsou rozhodující kvalitativní parametry, které určují, jak se bude palivo chovat v průmyslových podmínkách a zda má tendenci tvořit nežádoucí slinky.

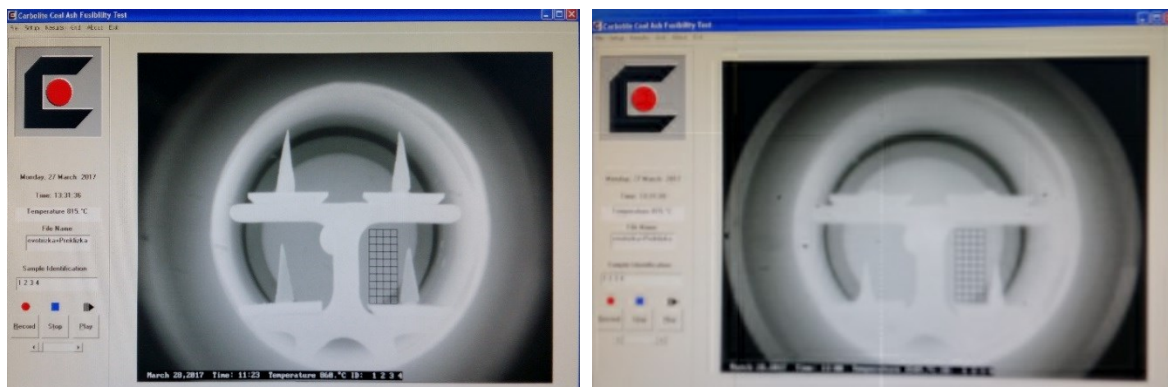


Obrázek 5: Spalovací pec CAF - Digital Coal Ash Fusibility Test Furnaces, Carbolite, UK

Na obrázku č. 6 můžeme vidět připravené jehlanky popela dřevotřísky a překližky, které jsou následovně v peci podrobeny tavitelnosti (obrázek č.7).



Obrázek 6: jehlanky popela dřevotřísky a překližky



Obrázek 7: tavitelnost jehlanků popela dřevotřísky a překližky

3.3 Chování chemických látek a surovin během spalovacích procesů

Za účelem zjištění chování chemických látek a toho, jak jednotlivé suroviny budou během spalovacího procesu reagovat, byla použita překližka z Hornbachu, dřevotříska vyrobená z odpadních materiálů od firmy Energospol a čistá dřevní štěpka získaná ze zahrady. V rámci výzkumu byly uvedené vzorky rozdrceny a namlety zařízením Vorwerk Thermomix. U vzorku byla také realizována vstupní analýza chemického složení pomocí mikroskopu SEM FEI Quanta 650 FEG vybaveném energiově disperzním analyzátozem EDAX (ICT, analýzy provedl Dr.Ing.D.Matýsek). Dále byly vzorky spáleny v muflové peci při teplotě 815 a 1050°C. Získané popely byly podrobeny mineralogické fázové analýze metodou RTG-difrakční analýzy (RTG-difraktometr Bruker Advance D8,

pracoviště ICT – Dr.Ing.D.Matýsek), která poskytla informace o mineralogickém složení popela (ŠAFÁŘ et al. 2017).

V tabulce č. 4 můžeme vidět, že obsah popela u testovaných vzorků je nízký (do 1 %). Nejméně popela vzniklo při spalování smrkového dřeva (0,23 %). Obsah těkavých látek se u všech vzorků pohybuje v rozmezí 80 - 83 %. Fixní uhlík tvořil přibližně 11-13 % obsahu. Při spalování jednotlivých vzorků se z každého gramu uvolnilo okolo 19 J tepla. Teplota tání je u dřevotřísky okolo 1200°C, u dřevotřísky došlo pouze ke zmenšení zkušebního jehlánku přibližně o ¼, avšak tvar jehlánku do teploty 1550°C zůstal zachován. U štěrky byla teplota tavení zhruba o 150°C nižší.

Tabulka 4: Analýza vzorků dle obsahu jednotlivých látek teploty tání a spalného

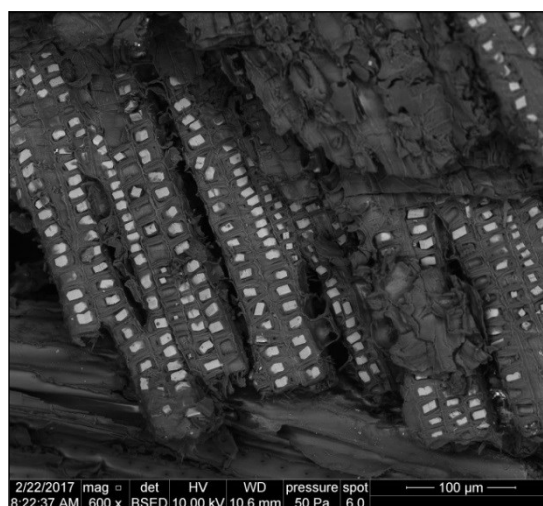
Vzorek	TGA [%]					AC-350	CAF [°C]			
	Vlhkost	Těkavá látka	Prchavá látka	Popel	Fixní uhlík	spalné teplo J/g	DT deformace	ST měknutí	HT tání	FT tečení
dřevotříska kus	5,16	80,53	84,92	0,72	13,59	18144	1073	1229	1235	1248
dřevotříska drt	4,52	79,5	83,26	0,95	15,03	18918				
dřevotříska prach	4,6	80,86	84,75	0,81	13,73	18085				
smrkové dřevo	8,13	79,18	86,18	0,23	12,46	18853				
tvrdé bukové dřevo	6,07	81,68	86,96	0,51	11,75	19043				
překlíčka mletá	6,07	79,14	84,25	1,52	13,27	20514	o 1/4 zmenši velikost, jinak beze změn			

Byla provedena analýza jednadvaceti bodů na přítomnost různých prvků uvedených v tabulce č. 5. Všechny analyzované vzorky obsahují zbytky kůry, ve které se vyskytuje Ca-oxalát (whewellit). Dále se pak ve sledovaných částicích vyskytuje křemík (Si) v hm. % od 1,02 do 30,54. Tento prvek byl zjištěn u 10 vzorků z 21 sledovaných částic. Kromě křemíku se nejčastěji vyskytovaly prvky draslík a hliník. Naopak nejméně často se objevoval sodík (Na), titan (Ti) a síra (S).

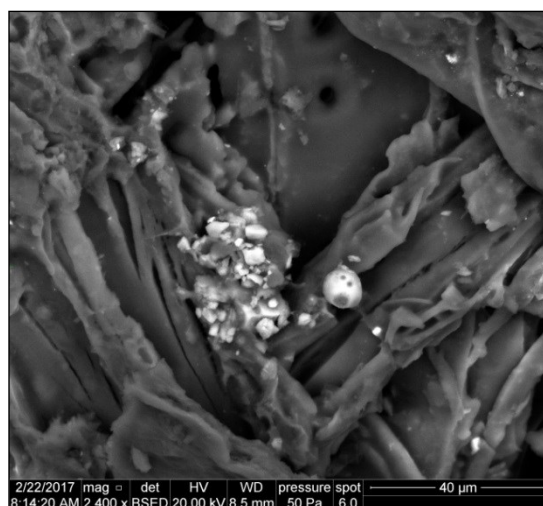
Tabulka 5: Rozsahy koncentrací (hm.%) a počet výskytu prvků ve zkoumaných částicích

Prvky	S	N	Na	K	Ca	Mg	Al	Si	Ti	Fe
Počet výskytu	3	7	2	10	8	5	10	10	2	6
Rozsah koncentrací	0.28-7.97	0.36-14.2	1.1-5.94	0.65-24.44	2.49-67.36	0.50-2.93	0.83-16.82	1.02-30.54	2.1-25.64	1.44-20.1

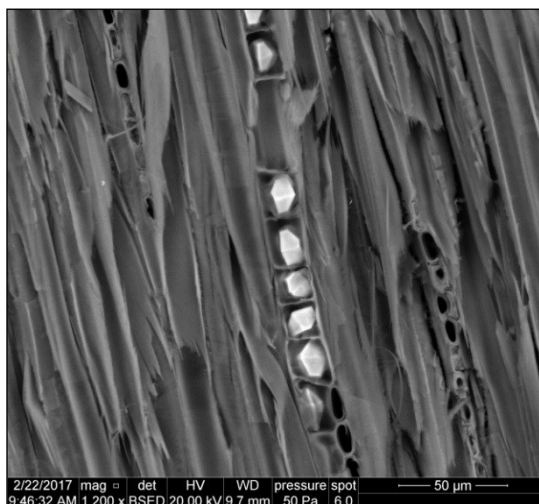
Vzorky odpadního materiálu byly sledovány ve scanovacím elektronovém mikroskopu. Na obrázku č. 8 můžeme vidět, že se v dřevotřísce vyskytují bílé krystalky whewellitu, které mají své typické upořádání a vyskytují se v pravidelných řadách. Na obrázku č. 9 lze pozorovat v dřevotřísce částice popela a prachu. Také u překližky se vyskytují bílé krystalky whewellitu ve svém typickém uspořádání (obrázek č. 10). V překližce můžeme pozorovat také částice oxidu křemičitého (SiO_2), které můžeme vidět na obrázku č. 11).



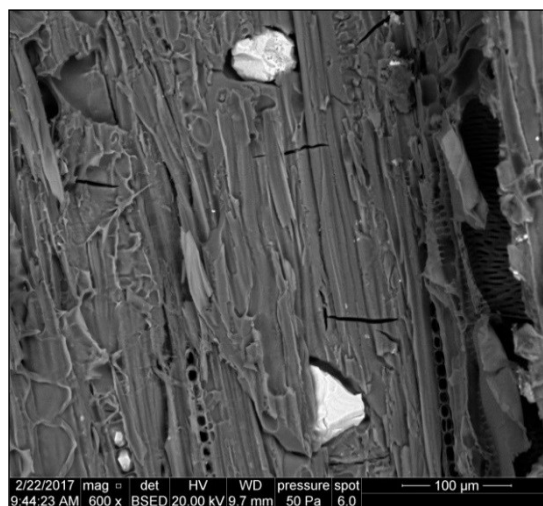
Obrázek 8: SEM - Bílé krystaly whewellitu v dřevotřísce



Obrázek 9: SEM - Prach a popel v dřevotřísce

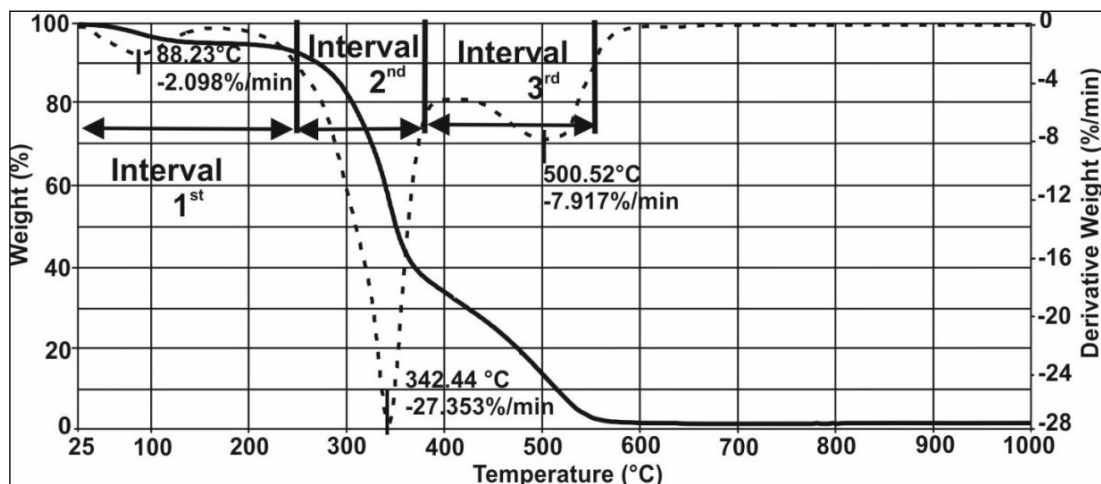


Obrázek 10: SEM - Bílé krystaly whewellitu v překlížce



Obrázek 11: SEM - Částice SiO₂ v překlížce

Z termogravimetrického měření (grafu č. 1) provedeném na přístroji firmy Mettler Toledo (Centrum ENET) můžeme vidět, jak se s rostoucí teplotou zvyšuje úbytek hmotnosti testovaných vzorků. Přerušovaná čára představuje derivaci úbytku hmotnosti a je rozdělena do tří intervalů podle teploty. V prvním intervalu dochází pouze k pozvolnému úbytku hmotnosti. K největšímu úbytku hmotnosti dochází v druhém intervalu do teploty 342,44°C, což odpovídá termického rozkladu celulózy a hemicelulózy. V posledním intervalu do 500 °C není hmotnostní úbytek tak vysoký (odpovídá rozkladu ligninu) a dochází ke konečnému spálení materiálu. Z toho vyplývá, že nedochází rovnoměrně k úbytku hmotnosti spolu se zvyšující teplotou.



Graf 1: Křivka úbytku hmotnosti dřevotřískové desky při spalování

Další produkt, který ve větší či menší míře vzniká při procesu spalování, je popel. Popel spolu s vodou tvoří nehořlavou část materiálu a v důsledku toho dochází ke snížení výhřevnosti paliva (MALAŤÁK, VACULÍK 2008).

V tabulce č. 6 je uvedeno chemické složení popela, který vznikl spalováním sledovaných vzorků (dřevotříska, překližka a štěpka) při teplotách 815 a 1050 °C. Hodnoty jsou také srovnány s údaji dle literatury. Z výsledku je patrné, že v největší míře je v popelu zastoupen vápník (CaO) a křemík (SiO₂). V popelu z dřevotřísky byly zjištěny vyšší koncentrace TiO₂ než je uváděno v literatuře.

Tabulka 6: Chemické složení popela (hm.%) (ŠAFÁŘ et al. 2017)

	SiO ₂	CaO	K ₂ O	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	ZnO
borovicová kůra	22,19	50,98	5,6	1,74	4,93	2,24	1,82	8,65	0,39	0,95		
borovicová kůra	9,2	56,83	7,78	5,02	7,3	6,19	2,79	2,83	1,97	0,17		
borovicové třísky	68,18	7,89	4,51	1,56	7,04	2,43	5,45	1,19	1,2	0,55		
borovicové třísky	5,79	32,41	22,94	7,03	1,08	15,87	0,45	12,94	1,3	0,18		
borovicové piliny	9,71	48,88	14,38	6,8	2,34	13,8	2,1	2,22	0,35	0,14		
piliny2	14,85	51,63	3,86		5,47	9,96	4,06		0,28			
piliny3	33,23	37,47	4,58	0,45	9,01	2,02	5,72	5,23	2,06			
smrková kůra	6,13	72,39	7,22	2,69	0,68	4,97	1,9	1,88	2,02	0,12		
smrkové dřevo	49,3	17,2	9,6	1,9	9,4	1,1	8,3	2,6	0,5	0,1		
dřevo z demolic	36,27	21,36	6,98	5,09	9,67	4,77	7,31	4,12	2,83	1,6		
nábytkové dřevo	57,17	13,78	3,74	0,5	12,14	3,25	5,59	0,99	2,34	0,5		
odpadní dřevo ze zahrady	60,1	23,92	2,98	1,98	3,08	2,17	1,98	2,46	1,01	0,32		
Dřevotříska 815 °C	8,78	44,01	6,09	4,44	4,51	8,26	4,24	8,15	3,79	3,02	2,7	2,41
Dřevotříska 1050 °C	12,37	35,33	6,58	3,80	4,84	6,3	6,55	7,59	4,23	6,57	3,79	2,05
překližka z Hornbachu	14,29	35,73	1	4,18	8,06	9,75	5,78	12,56	1,73	0,31	3,07	3,58
Štěpka	7,36	42,58	29,24	7,31	2,25	4,30	1,31	2,94	2,71			

Popel získaný spalením při teplotě 815 a 1050 °C obsahuje minerály uvedené v tabulce č. 7. V tabulce jsou také uvedeny jednotlivé teploty tání minerálů. Popel, který vzniká během spalování dřevotřísky při teplotě 815 °C obsahuje devět různých minerálů. V nejvyšší koncentraci se v popelu vyskytuje bredigit (54,5 %). Při vyšší teplotě spalování (1050 °C) vzniká také větší množství minerálů (11). V popelu získaném spalováním při (1050 °C) byly zjištěny nejvyšší obsahy CAS gehlenitu. Naopak můžeme vidět, že zastoupení Bredigitu s rostoucí teplotou klesá a při teplotě 1050 °C je už jeho obsah pouze 13,49 %. Popel ze spalování překližky obsahuje vyšší množství křemene.

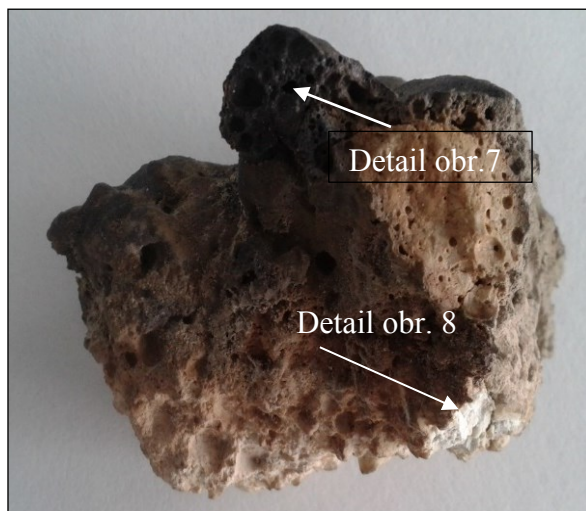
Tabulka 7: Mineralogické složení popela (hm.%) u sledovaných vzorků (ŠAFÁŘ et al. 2017)

Minerál	Vzorek	Teplota tání (°C)	Dřevotříska		Překližka		Struska
			815 °C	1050 °C	815 °C	1050 °C	
Alpha-Fe	Fe	-	1.23	-	1.4	-	-
Lime	CaO	2613	12.17	0.72	14.1	0.24	-
Portlandit	Ca(OH) ₂	580	10.24	-	-	-	-
Periclas	MgO	2852	9.64	2.76	-	3.59	-
Hematit	Fe ₂ O ₃	-	-	2.9	9.21	3.68	-
Křemen	SiO ₂	1713	4.39	3.8	53.4	40.29	-
Korund	Al ₂ O ₃	2040	-	-	-	-	36.2
Anhydrit	CaSO ₄	-	-	-	5.37	10.88	-
Kalcit	CaCO ₃	665 - 850	-	6.19	-	-	-
Halit s draslíkem	NaCl	-	0.17	-	-	-	-
Sanidin	KAlSi ₃ O ₈	1170	2.2	-	-	-	-
Albit	NaAlSi ₃ O ₈	1120	0.47	-	-	5.93	-
Anorthit	CaAl ₂ Si ₂ O ₈	1575	-	-	-	-	34.4
C2S	2CaO*SiO ₂	1474	-	21.83	-	-	-
Merwinitt	Ca ₃ Mg(SiO ₄) ₂	1434	-	16.92	-	-	-
Wollastonit	CaSiO ₃	1540	-	8.53	-	16.56	-
Bredigit	(Ca,Ba)Ca ₁₃ Mg ₂ (SiO ₄) ₈	2130	54.51	13.49	-	-	-
CAS Gehlenit	Ca ₂ Al(AlSi)O ₇	1388	5.16	20.57	0.4	18.82	-
Rosenhahnit	Ca ₃ Si ₃ O ₈ (OH) ₂	1695	-	10.2	-	-	-
Mullit	Al ₆ Si ₂ O ₁₃	1828	-	-	-	-	27.7
Rhonit	Ca ₂ (Mg,Fe ²⁺ ,Fe ³⁺ ,Ti) ₆ (Si,Al) ₆ O ₂₀	-	-	-	-	-	1.7

3.3.1 Usazeniny popela na teplosměnných plochách kotlů

Vzhledem k tomu, že dřevo má nízký obsah alkálií a chloru, tak se obvykle nepředpokládá struskování kotle (ANDERT 2010).

Na obr. 12 je uvedena ukázka strusky (spečenec), která vznikla při spalování odpadní dřevotřísky v zařízení na spalování biomasy (konstrukční řešení firmy ENERGOSPOL, s.r.o.). Z mineralogického složení popela získaného při teplotě 815 s 1050 °C (tabulka 11) vyplývá, že většina identifikovaných fází má bod tání popela vyšší než 1100 °C. Odpadní dřevní biomasa se řadí k materiálům s obsahem vysokotavitelných popelovin (popely s nízkým obsahem křemíku, draslíku a vápníku).

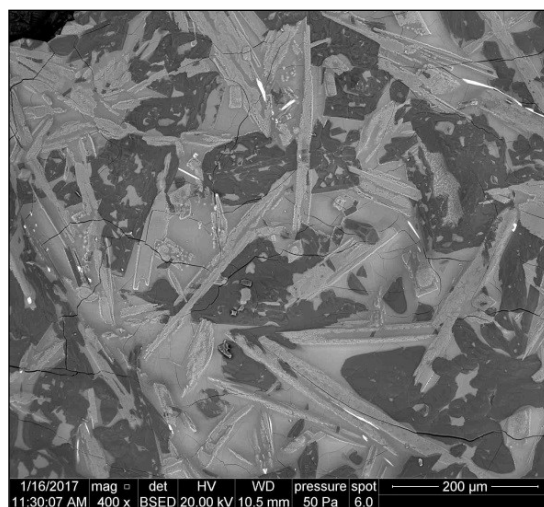


Obrázek 12: Struska

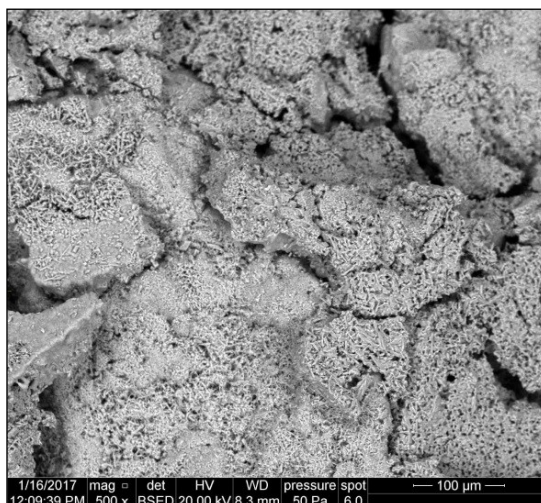
Spečenec, který přinesla firma ENERGOSPOL, s.r.o. byl podroben chemické analýze (SEM + EDAX) za účelem identifikace podmínek vzniku. V tabulce č. 8 je uvedeno průměrné chemické složení spečence, které bylo vypočteno z analýzy cca 25 ploch krystalické fáze a 18 míst analyzovaných v matici. Fotodokumentace spečence ze SEM je uvedena na obr. 13 a 14.

Tabulka 8: Chemické složení strusky (hm.%)

	O	Mg	Al	Si	P	Ca	Ti	Mn	Fe	Na	K	V	C
Krystalická fáze	33,6	3,9	14,3	8,9	2,9	3	19,1	4,4	7	0,4	1,6	1	
Amorfní matrice	35,2	1,4	27,6	16,2	4	6,6	2,2	2	1,2	0,9	0,9	1,2	0,6



Obrázek 13: Spečenec – pozice je vyznačena v obrázku č. 6



Obrázek 14: Spečenec – pozice vyznačena na obrázku č. 6

Na spečenci byla dále provedena mineralogická analýza metodou RTG-difrakce. Z výsledků uvedených v tabulce č. 9 je patrné, že spečenec je složen především z korundu a anortitu, nejmenší podíl vykazuje komplexní silikát - rhonit. Díky tomuto složení a především zastoupení korundu je spečenec velmi tvrdý. Korund je dle Mohsovy stupnice druhý nejtvrdějším minerálem hned za diamantem.

Tabulka 9: Mineralogické složení spečence

Minerál	Chemický vzorec	%
Korund	Al_2O_3	36,2
Anortit	$\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$	34,4
Mullit	$\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$	27,7
Rhonit	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Ti})_6(\text{Si}, \text{Al})_6\text{O}_{20}$	1,7

Jak již bylo uvedeno výše, struska se skládá z tvrdých minerálů (tabulka č. 9) a proto je důležité teplotu spalování udržovat pod 1200 °C, aby se zabránilo vzniku strusky. Dále by se měl materiál rozdělit na jemnější a hrubší frakci, ať to prohořívá stejnoměrně. Po splnění těchto podmínek by se neměl spečenec vytvářet.

3.3.2 Majoritní složení odpadní dřevní biomasy (překližka a dřevotříska)

Jednotlivé sledované materiály se liší obsahem ligninu a celulózy. V tabulce č. 10 můžeme vidět procentuální zastoupení majoritních složek u sledovaných materiálů. Nejvyšší obsah celulózy měla překližka a naopak nejnižší obsah byl zjištěn v čerstvé zahradní štěpce. Obsah ligninu je u sledovaných vzorků velmi podobný.

Tabulka 10: Obsah ligninu a celulózy ve sledovaných vzorcích

Vzorek	Lignin	Celulóza
	%	%
dřevotříska	26,84	50,08
překližka	26,63	59,38
štěpka	28,61	40,17

3.3.3 Chemické složení odpadní biomasy stanovené metodou py-GC/MS

Pro stanovení chemického složení odpadní dřevní biomasy byla použita metoda pyrolyzní chromatografie s hmotnostní detekcí (py-GC/MS). Analýzy provedla Ing. J. Růžičková, PhD (Centrum ENET).

Analýza byla provedena při teplotě 400 °C. Cílem této analýzy bylo určit organické složení odpadní biomasy (zastoupení skupin organických sloučenin) a porovnat je s čistou dřevní hmotou. Tímto lze určit, jak se liší čisté přírodní vzorky, měkké dřevo (jehličnany) a dřevo tvrdé (buk) od průmyslově vyrobených vzorků dřevotřísky a překližky.

Chemickou analýzou byla stanovena přítomnost těchto skupin organických látek: hydrazidy, BTEX a sloučeniny benzeny (tabulka č. 11), alkany a cykloalkany, alkeny a cykloalkeny, alkiny, alkadieny a cykloalkadieny, aldehydy, ketony, alkoholy, furany a další skupiny látek, které jsou uvedené v příloze č. 1.

Tabulka 11: Koncentrace BTEX a sloučenin benzenu (ug/g) uvolněných při termickém rozkladu

BTEX a sloučeniny benzenu	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
(1-methyl-1-propenyl)benzen	1,99	1,16	MD	MD*
1,1'-methylenbis(2-methyl)benzen	12,76	7,41	MD	3,95
1,2,3-trimethoxybenzen	8,77	5,09	MD	MD
1,2,3-trimethylbenzen	1,59	0,93	MD	MD
1,2-dihydroxybenzen (katechol)	53,43	31,02	1,64	1,05
1,3,4-trimethoxybenzen	5,58	3,24	MD	MD
1,3,5-trimethoxybenzen	4,39	2,55	MD	MD
1,3-diethenylbenzen	5,98	3,47	MD	MD
1-ethenyl-3-methylbenzen	14,75	8,56	MD	MD
1-methylethenylbenzen	1,59	0,93	MD	MD
1-methylethylbenzen	9,97	5,79	MD	MD
1-propenylbenzen	1,59	0,93	MD	MD
2-propenylbenzen	3,99	2,31	MD	MD
benzen	82,54	47,92	19,68	15,00
ethylbenzen	3,59	2,08	MD	MD
m-xylen	23,92	13,89	MD	MD
p-xylen	19,94	11,57	MD	MD
styren	2,39	1,39	MD	MD
toluen	68,98	40,05	13,45	13,68
4-methyl-1,2-benzendiol	24,32	14,12	0,33	MD
2-methyl-1,2-benzendiol	18,74	10,88	MD	MD
3-methyl-1,2-benzendiol	18,34	10,65	0,98	MD

*MD - pod mezí detekce

Z výsledků chemické analýzy vyplývá, že většina látek, které jsou zdraví škodlivé, se přidává do výsledných produktů během jejich výroby (dřevotříska a překližka), tak jak lze vidět v tabulce č. 11, kdy se přirozeně ve dřevě vyskytovaly pouze čtyři sloučeniny ze skupiny benzenů.

3.3.3 Vodný výluh

Podle metodiky vyhlášky č. 294/2005 Sb. byl připraven vodný výluh. Výsledky analýzy jsou zaznamenány v tabulce č. 12. Analýzou byl potvrzen nízký obsah Na, K a chloridů v odpadní biomase, které jsou často příčinou struskování. Vysoké obsahy dusičnanů a amonných iontů jsou ovlivněny přidávkem sloučenin používaných k lepení těchto materiálů.

Aneta Pšenícová: Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových desek

Tabulka 12: Parametry zjištěné ve vodném výluhu u sledovaných vzorků

Vzorek	pH	vodivost	KNK-4,5	CHSK-Cr	F ⁻	Cl ⁻	(SO ₄) ²⁻	N	(PO ₄) ³⁻	(NO ₂) ⁻	(NO ₃) ⁻	(NH ₄) ⁺	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
		mS/cm	mmol/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Dřevotříska prach	5,27	477	5,19	1936	6,45	57,99	83,8	435	15,5	0,46	185	25,3	8	61,5	58,76	25,47
Dřevotříska	5,46	660	4,15	1396	2,6	47,45	54,4	480	16,1	0,36	168	43,3	17	51,6	41,97	35,65
Překližka	4,89	206	1,56	494	1,25	39,54	0,86	97,7	4,27	0,07	22,5	3,43	2	19,8	20,98	20,37
Štěpka	4,34	743	3,11	5660	26,3	57,99	64,8	115	49	0,54	103	0,53	4	219,8	41,97	25,47

4 ENERGETICKÉ METODY VYUŽITÍ ODPADNÍHO DŘEVA

U odpadního dřeva, které je součástí biomasy, lze uplatňovat různé metody energetického využití. Mezi tyto metody, které jsou souhrnně označovány jako termické, patří spalování, zplyňování a pyrolýza. Z jednotlivých procesů vznikají kapaliny a tuhý zbytek. energii a teplo, které získáme těmito metodami lze využít v kogeneračních zařízeních. Hlavními přínosy energetického zpracování odpadů jsou:

- pokles objemu odpadů a tím i úspora místa na skládce a díky tomu delší životnost skládky;
- snížení znečištění ovzduší (emise, CO₂);
- odstranění vlastností, které mohou být nebezpečné (např. hořlavost, výbušnost, mikrobiologická závadnost, rizika spojená se vznikem karcinogenních, teratogenních a mutagenních onemocnění, atd.) (SKÁLA, OCHODEK 2007; RICHTER 2008).

4.1 Zplyňování

Tato metoda spočívá v přeměně biomasy na plyn za omezeného přístupu vzduchu a vysokých teplot (800 až 900°C). Při dodržování všech správných postupů, kontrole jednotlivých faktorů a po uplynutí určité doby (jednotky až desítky sekund) se přemění vstupní surovina na plyn (JAKUBES et al. 2006).

Proces zplyňování biomasy je z technologického hlediska náročnější, než spalování, jsou zde tudíž větší investiční náklady (SKÁLA, OCHODEK 2007; POHOŘELÝ et al. 2011).

Z hlediska efektivity je nejlepší při zplyňování používat čistý kyslík. Nejčastěji se však jako okysličovadlo používá vzdušný kyslík, ale výsledný plyn má nízkou výhřevnost, která se pohybuje okolo 5,5 MJ/m³. Při zplyňování vznikají plyny, které obsahují výhřevnou složku. Mezi tyto plyny patří např. vodík, oxid uhelnatý, metan a další organické sloučeniny. Kromě hlavního produktu vznikají při zplyňování i látky doprovodné, kde řádíme oxid uhličitý, zbytky dusíku a vodu. Dále při tomto procesu uvolňují i složky znečišťující, jako jsou například dehet, fenoly, sloučeniny síry a chloru, prach a atd. Doprovodné a znečišťující látky vznikající při zplyňování je potřeba z výsledného produktu odstranit. Množství těchto nečistot je závislé především na

použitým vstupním materiálu a zvolené technologii. V závislosti na konečném využití plynu je nutné provést více či méně důkladnější čištění. Například u plynového motoru je důležité plyn zbavit dehtu, ale není třeba příliš dbát na obsah sirných sloučenin, které tomuto motoru neškodí. Opačným příkladem je vysokoteplotní palivový článek, který snáší dehet, ale škodí mu sirné sloučeniny (JAKUBES et al. 2006, JANDAČKA et al. 2007, POHOŘELÝ et al. 2011).

Mezi dva základní generátory, které se v současnosti nejvíce používají, patří:

- generátor s pevným ložem - Jedná se jednodušší a méně nákladnou metodu, která se ale dá použít jen u malých výkonů. Tento proces probíhá za atmosférického tlaku a při teplotách okolo 500 °C). Problémem u tohoto typu generátoru je tvorba například fenolů, látek z dehtů a dalších látek, které lze těžko odstranit (JAKUBES et al. 2006).
- fluidní generátor - Na rozdíl od generátoru s pevným ložem tento proces probíhá za vyšších teplot v rozmezí 850 - 950 °C. Díky vysokým teplotám dochází ke snížení množství vedlejších škodlivých látek, jako jsou vyšší uhlovodíky a dehet. Stejně jako u předchozího typu generátoru i zde dochází ke zplyňování při atmosférickém tlaku (JAKUBES et al. 2006).

Plyn získaný zplyňováním biomasy má dále široké uplatnění, jelikož ho můžeme využívat místo zemního plynu jako palivo do plynových motorů a k výrobě elektrické energie pomocí plynových turbín (JAKUBES et al. 2006, JANDAČKA et al. 2007, POHOŘELÝ et al. 2011).

4.2 Pyrolýza

Ve srovnání se spalováním probíhá tento proces s omezeným nebo většinou žádným přísunem kyslíku. Výsledkem procesu pyrolýzy jsou pevné nebo kapalné výtěžky produktů (ZÁMOSTNÝ, KURC 2011; SKÁLA, OCHODEK 2007).

Pyrolýza probíhá v primární a sekundární fázi. V průběhu první fáze reaguje hemicelulóza a lignin. Při teplotě 250 až 350 °C se uvolňuje vlhkost a vznikají např. těkavé cukry (levoglukosan) a organické sloučeniny, anhydrocelulóza. Při těchto teplotách se také rozkládá lignin a vznikají fenoly. Hemicelulóza se ve srovnání s ligninem rozkládá už při nižších teplotách (200 - 260 °C) a zároveň se snadněji dehydratuje a produkuje menší

množství pyrolyzního uhlíku. Lignin se naopak rozkládá až od 250 do 500 °C. Ve druhé fázi pyrolýzy dochází k reakcím mezi těkavými látkami, které vznikly v první fázi. Délka této fáze je závislá na době zadržení, tlaku, teplotě působení a velikosti částic těkavých látek. Sekundární reakce pyrolýzy začínají od 500 °C (klasická pyrolýza) až do 650 °C, kdy reaguje oxid uhelnatý a dřevo spolu s vodní párou, přičemž vzniká oxid uhličitý a vodík. Proto, aby k těmto reakcím nedocházelo, by teplota neměla přesahovat 650 °C (ZÁMOSTNÝ, KURC 2011; JÍLKOVÁ et al. 2012).

Základní produkty, které vznikají při pyrolýze, jsou bio - olej, pyrolyzní plyn a pevný zbytek. Bio-olej (neboli pyrolyzní benzín či pyrolyzní olej) je tmavá kapalina s pronikavým zápachem. Obsahuje sloučeniny látek, jako jsou například kyseliny, alkoholy, cukry, ethery, furany, fenoly atd. Složení tohoto hlavního produktu se liší podle použité suroviny a technologie. Ve srovnání s fosilními palivy je zde obsah kyslíku výrazně vyšší. Druhým produktem, který vznikl při pyrolýze je pyrolyzní plyn. Jedná se o vedlejší produkt, který je směsí různých látek (vodíku, oxidů dusíku, uhličitého a uhelnatého). Dalším vedlejším produktem z pyrolýzy pevný zbytek, který můžeme pojmenovat jako pyrolyzní uhlík. Jsou to části dřeva, popela a další, které nezreagovaly během procesu pyrolýzy (ZÁMOSTNÝ, KURC 2011; SKÁLA, OCHODEK 2007; JÍLKOVÁ et al. 2012).

Při pyrolýze bukových pilin dochází k rozkladu dřeva při teplotě zhruba 200 °C. Nejefektivnější rozklad je pak při teplotách okolo 350 °C a probíhá nejvýše do 500 °C. Pyrolýza bukových pilin prochází následujícími kroky. Nejprve dochází k ohřevu pilin a v důsledku primárních reakcí se uvolňují plynné a kapalné látky, mezi kterými dochází k výměně tepla a vzniká uhlík. Při sekundární reakci se vytváří dehet. Další reakce, které probíhají při pyrolýze a jsou závislé na teplotě a době zdržení, jsou tepelný rozklad, dehydratace, reformování a rekombinace radikálů (ZÁMOSTNÝ, KURC 2011; JAKUBES et al. 2006; JÍLKOVÁ et al. 2012).

Na pyrolýzu dřeva a jeho výtěžky má výrazný vliv složení a jeho poměr jednotlivých látek obsažených ve dřevě. Nejdůležitějším látkou, která má podstatný vliv na výtěžek je celulóza. Dále mohou výtěžky ovlivnit složky, které jsou obsažené nebo přidané do dřeva. Některé kovy (např. Fe, Al, Zn, Cr a alkalické kovy) obsažené ve dřevě mají

pozitivní vliv na výtěžek bio-oleje. Naopak kovy alkalických zemin negativně ovlivňují produkci bio-oleje (ZÁMOSTNÝ, KURC 2011).

Takto vyrobený bioplyn, který prošel procesem pyrolýzy, se používá především jako palivo pro pohon kogenerační jednoty (RICHTER 2008; JAKUBES et al. 2006).

4.3 Spalování

Tento proces patří mezi nejpoužívanější metodu energetického využití, a to především díky své jednoduchosti a dostupnosti. Díky modernizaci a automatizaci spalovacího procesu, došlo k zefektivnění, úspoře nákladu a zvýšení účinnosti, což mělo za následek klesající emise (SKÁLA, OCHODEK 2007; JAKUBES et al. 2006).

Ve srovnání s pyrolýzou tento proces probíhá za přístupu kyslíku a surovina používaná při spalování nemusí být nijak upravena (předsušená). Při spalování je důležité kontrolovat emise oxidů uhelnatého a dusíku, tuhých a organických látek (SKÁLA, OCHODEK 2007; JAKUBES et al. 2006; LYČKA 2011).

Pro efektivní spalování je nezbytné zajistit dostatečně vysokou teplotu a množství kyslíku. Procesu se také musí ponechat čas, aby došlo k úplnému spálení. Proces spalování probíhá v následujících třech fázích:

- **ohřev a sušení** - dochází k odstranění vlhkosti;
- **termický rozklad** - jednotlivé spalované složky se rozkládají na plyny (CH_4 , CO a uhlovodíky) a pevné složky (dřevěné uhlí);
- **spalování pevných a plynných složek** (JANDAČKA et al. 2007).

Spalování podle velikosti a výkonu kotle rozdělujeme následovně:

- **Lokální topeniště** - Mají nejnižší výkon obvykle se pohybuje do několika kW. Patří zde především klasické kamna, krby a pece v domácnostech. Slouží především jako doplněk interiéru a jejich účinnost není příliš vysoká. V případě moderních krbových vložek je účinnost vyšší a mohou se používat k efektivnímu vytápění celého domu.
- **Malé kotle na biomasu** - Slouží především k vytápění domů a malých budov. Jejich výkon se pohybuje v rozmezí 20 až 100 kW. Rozlišujeme zde dva typy kotlů zplynovací na kusové dřevo a automatický na dřevní pelety.

Zplyňovací kotle fungují na principu přeměny dřeva na plyn a následného spalování plynu. Tento systém lze dobře regulovat, ale je třeba jej pravidelně manuálně obsluhovat (3krát denně přikládat a alespoň jednou za týden vybrat popel). Jako palivo v těchto kotlích se používají polena, brikety a případně další dřevní odpad. Naopak u automatických kotlů není častá manuální obsluha potřeba a to díky automatickému dávkovači paliva. Jako palivo slouží především pelety.

- **Střední kotle na biomasu** - Výkon těchto kotlů se pohybuje nad 100 kW. Používá se k vytápění malých průmyslových závodů a jako ústřední vytápění v bytových domech. Kotle jsou vybaveny automatickým dávkováním paliva a mohou spalovat dřevěné štěpky, pelety, brikety a další a to i v případě jejich horší kvality nebo vyšší vlhkosti.
- **Velké zdroje** - U těchto zdrojů se výkon pohybuje v řádu MW. Princip je u těchto zdrojů podobný jako v přechozím případě. Také zde se spaluje dřevní odpad, štěpka, sláma atd. Rozdíl spočívá pouze ve velikosti a výkonu kotlu, kdy tyto zdroje slouží k vytápění průmyslových areálů, k výrobě elektrické energie a v teplárnách (JAKUBES et al. 2006).

V případě nedodržení správného postupu při spalování je hoření neúplné a vzniká dým, který obsahuje nespálený uhlík a má charakteristický zápach. Způsobuje také zanesení komínu. Při nadměrném množství vzduchu je spalování neefektivní, protože všechno dřevo nestihne shořet a je odnášeno. Při správném spalování tedy nedochází ke vzniku dýmu ani zápachu (JANDAČKA et al. 2007).

5 CHARAKTERISTIKA VEDLEJŠÍCH PRODUKTŮ Z ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ (VEP)

Vedlejší energetické produkty jsou druhotný produkt vznikající během energetických procesů (spalování, zplyňování a pyrolýza) a dále také při odsiřování v elektrárnách a teplárnách. Vedlejší energetické produkty byly považovány dle zákona č. 125/1997 Sb. za odpad. V dnešní době se však vedlejší energetické produkty využívají ve větší míře jako certifikované výrobky. Pouze jejich malá část, která nelze jinak využít, je stále považována za odpad (SNOP 2013).

V České republice se produkce vedlejších energetických produktů pohybuje okolo 13 mil. tun. Toto číslo je však pouze orientační, protože záleží na výkladu legislativy a chápání vedlejších energetických produktů jako odpadu. Dochází totiž k tomu, že je vyprodukován odpad, ale při jeho přeměně může sloužit jako materiál. Většina producentů tohoto odpadu je sdružena v Asociaci pro využití energetických produktů a Teplárenské sdružení České republiky (SNOP 2013).

Do budoucna závisí objem vyprodukovaných vedlejších produktů především na rozvoji technologie energetických procesů. Se zdokonalováním této technologie bude objem těchto odpadních produktů klesat a tudíž i ubude potřeba je dále zpracovávat a měnit je na jiný materiál (SNOP 2013).

Hlavní výhodou vedlejších energetických produktů je jejich uplatnění ve stavebnictví a dalších odvětvích, kde mohou nahrazovat přírodní zdroje, které jsou díky tomu šetřeny. Současně se tím tak šetří i životní prostředí a náklady související s těžbou přírodních zdrojů (SNOP 2013).

Dle nařízení REACH energetické produkty, které jsou takto zaregistrovány, nepředstavují riziko pro zdraví člověka a životní prostředí.

5.1 Hodnocení VEP podle vyhlášky č. 294/2005 Sb.

Vyhláška č. 294/2005 Sb. se zabývá možnostmi ukládání odpadů a jejich využití na povrchu terénu. Dále specifikuje, který odpad se nesmí ukládat na skládky, případně za jakých podmínek. Podle vyluhovatelnosti určuje, zda je odpad vhodný k odstranění. Pokud je spalován nebezpečný odpad, jsou uvedeny technické podmínky pro nakládání s tímto odpadem. Je zde také uvedeno, jakým způsobem musí být skládka zajištěna.

Během energetického využití (spalování, pyrolýzy a zplyňování) vznikly u námi sledovaných materiálů vedlejší energetické produkty, jako jsou plyny, mezi kterými se vyskytovaly především oxid uhličitý a uhelnatý, oxidy dusíku, sloučeniny síry a chloru. Mezi další vedlejší produkty, které vznikly při energetickém využití, patří fenoly, dehet, popel, popílek, prach, a pyrolýzní uhlík.

Podle vyhlášky č. 294/2005 Sb., přílohy č. 5, se nebezpečné odpady, které vykazují alespoň jednu z nebezpečných vlastností, mezi které patří výbušnost, hořlavost, infekčnost, uvolňování toxických plynů nebo oxidující vlastnosti, nesmí ukládat na skládku. Pokud vyluhovatelnosti vyhoví, tak může být v malém množství na skládku uloženo. Data o vyluhovatelnosti popela jsme neměřili, jelikož ho vzniklo pouze malé množství. Popílky z biomasy - dřeva mají jiné složení než popílky z fosilních paliv.

5.2 Nakládání s VEP

Tato kapitola je zaměřena především na nakládání s popelem a popílkem.

Popel se dříve běžně používal jako hnojivo. S rostoucím množstvím vzniklého popela z produkce elektráren se začal popel ukládat na skládky. Vznikla tedy potřeba jeho nového využití a omezení skládkování. Popel se tedy začal využívat zejména ve stavebnictví. K jeho širšímu využití v tomto oboru napomohla i legislativa, díky které se snížilo ukládání na skládky a otevřely se možnosti jeho dalšího využití. Novou technologii se také zlepšily vlastnosti popela a je tedy možné ho dnes přidávat do různých stavebních prvků (vozovky, beton, asfalt, násypy, atd.) (VÁŇA 2010, KOLÁŘOVÁ et al. 2005).

Popílek se používá stejně jako popel převážně ve stavebnictví. Kromě toho se však využívá i v jiných odvětvích, jako jsou např. metalurgie (pro výrobu železa, hliníku, germania, uranu), v čistírnách odpadních vod (sorbet pro čištění) (VÁŇA 2010, KOLÁŘOVÁ et al. 2005).

6 LEGISLATIVA PRO NAKLÁDÁNÍ S ODPADY A BEZPEČNOST

V **zákoně č. 185/2001 Sb. o odpadech** je uvedeno, jakým způsobem se má s jednotlivými odpady nakládat. Klasifikace odpadů pro účely tohoto zákona vychází z vyhlášky č. 93/2016 Sb. o katalogu odpadů. Některé odpady jsou podle této vyhlášky nebezpečné. Zákon č. 185/2001 tedy uvádí, jakým způsobem se s těmito odpady má zacházet a dále je člení dle nebezpečných vlastností, které tyto odpady mohou vykazovat. V případě odpadů ze dřeva, které jsou v katalogu uvedeny pod číslem tři, hrozí, že se u nich projeví nebezpečné vlastnosti, jako jsou například výbušnost, toxicita, karcinogenita a teratogenita. V rámci tohoto zákona je také řešena hierarchie zacházení s odpadem. V první řadě je potřeba se chovat tak, abychom přecházeli tomu, aby odpady vůbec vznikaly. V případě, že je nezbytné, aby odpad vznikl, musíme dále zhodnotit, zda ho nelze opětovně použít. Pokud toto není možné, přichází na řadu recyklace odpadů. V rámci využití odpadů musíme také zvážit např. možnosti energetického využití. Poslední možností, která by měla připadat v úvahu je odstranění odpadů pomocí spalení nebo jeho umístění na skládku.

Produkty z použitého dřeva jsou v mnoha zemích potenciálně důležitými zdroji. Až 90 % dřeva může být znovu použito. Díky neúplnosti dat je těžké přesně určit, do jaké míry se v současnosti využívá odpadové dřevo. Předpokládá se však, že v Evropské unii se zhruba 30 milionů tun tohoto dřeva opětovně použije, což odpovídá přibližně 13 % roční spotřeby. Ve Spojených státech bylo vyprodukováno zhruba 62,5 milionů tun dřevěného odpadu, většina z nich skončí na skládce odpadů. Téměř polovina (43 %) tohoto množství je vhodná pro opětovné použití (recyklaci). Toto dřevo pochází především ze stavebnictví, demolice, komunálního a průmyslového odpadu, atd. Dřevotřískové desky dnes obsahují běžně okolo 70 % recyklovaného materiálu. Jsou ale i země, kde se obsah recyklovaného materiálu blíží až k 99 %. (WORRELL, REUTER 2014; Z dřevěného odpadu).

Nábytkářský řetězec IKEA, který spotřebovává okolo 1 % celosvětové produkce dřeva, se snaží používat licencované dřevo z obnovitelných zdrojů. Kromě toho zavedl i zpětný odkup svých produktů a napomáhá, tak k recyklaci (KEMÉNYOVÁ 2017, Z dřevěného odpadu).

Podle vyhlášky č. 93/2016 Sb. o Katalogu odpadů patří mezi odpady vznikající zpracováním dřeva případně při výrobě desek, nábytku, celulózy, papíru nebo lepenky, jak můžeme vidět v tabulce č. 13. Tyto odpady se řadí do třetí skupiny. Třetí skupina se dále dělí do tří základních podskupin podle původu odpadů. Tyto podskupiny následně zahrnují konkrétní druh odpadů. Druhy odpadů, které jsou označené hvězdičkou, jsou chápány jako nebezpečný odpad. Odpady vznikající produkcí firmy Kronospan, jsou řazeny do podskupiny 03 02 05, což jsou nebezpečné odpady

Tabulka 13: Třetí skupina katalogu odpadů - upraveno (Vyhláška č. 93/2016 Sb.)

3	ODPADY ZE ZPRACOVÁNÍ DŘEVA A VÝROBY DESEK, NÁBYTKU, CELULÓZY, PAPÍRU A LEPENKY
03 01	Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek a nábytku
03 01 01	Odpadní kůra a korek
03 01 04*	Piliny, hobliny, odřezky, dřevo, dřevotřískové desky a dýhy obsahující nebezpečné látky
03 01 05	Piliny, hobliny, odřezky, dřevo, dřevotřískové desky a dýhy, neuvedené pod číslem 03 01 04
03 01 99	Odpady jinak blíže neurčené
03 02	Odpady z impregnace dřeva
03 02 01*	Nehalogenovaná organická čínidla k impregnaci dřeva
03 02 02*	Chlorovaná organická čínidla k impregnaci dřeva
03 02 03*	Organokovová čínidla k impregnaci dřeva
03 02 04*	Anorganická čínidla k impregnaci dřeva
03 02 05*	Jiná čínidla k impregnaci dřeva obsahující nebezpečné látky
03 02 99	Čínidla k impregnaci dřeva jinak blíže neurčená
03 03	Odpady z výroby a zpracování celulózy, papíru a lepenky
03 03 01	Odpadní kůra a dřevo
03 03 02	Kaly zeleného louhu (ze zpracování černého louhu)
03 03 05	Kaly z odstraňování tiskařské černi při recyklaci papíru
03 03 07	Mechanicky oddělený výmět z rozvlákňování odpadního papíru a lepenky
03 03 08	Odpady ze třídění papíru a lepenky určené k recyklaci
03 03 09	Odpadní kaustifikační kal
03 03 10	Výmětová vlákna, kaly z mechanického oddělování obsahující vlákna, výplně a povrchové vrstvy z mechanického třídění
03 03 11	Kaly z čištění odpadních vod v místě jejich vzniku neuvedené pod číslem 03 03 10
03 03 99	Odpady jinak blíže neurčené

K tomu abychom mohli spalovat odpady, je nutné splnit podmínky, které jsou stanovené předpisem o ochraně ovzduší a o hospodaření energií. Ochrana ovzduší se řídí zákonem č. **201/2012 Sb. o ochraně ovzduší**. Tento zákon upravuje, jakým způsobem by se mělo předcházet znečištění ovzduší a pokud už ke znečištění dojde, tak jak ho následně snížit, aby byl co nejmenší dopad na zdraví člověka a životní prostředí. Prostředkem, který slouží k usměrňování a omezování znečištění ovzduší, jsou limity. Mimo jiné tento zákon řeší i původce znečištění mezi, které se řadí i tzv. stacionární zdroje (příloha č. 2 výše uvedeného zákona). Zákon určuje co vše je potřeba splnit k tomu, aby tyto zdroje, v závislosti na velikosti a typu, mohly být provozovány (rozptylové studie, povolení k provozu, atd.).

Tato příloha je důležitá zejména v souvislosti s tím, že dřevotřískové desky nemůžeme libovolně spalovat v domácích topeništích, ale je třeba využít speciální kotle k tomu určené, které musí mít příkon větší než 5MW.

6.1 Požárně technická bezpečnost prachu a pilin

Při výrobě dřevotřískových desek a dalších činností související se zpracováním pilin, vzniká odpad v podobě dřevěného prachu, pilin a hoblin. Stejně tak je tento prach vedlejším odpadním produktem z různých způsobů energetického využití (zplyňování, spalování a pyrolýzy). Tento dřevěný prach je díky svým vlastnostem náchylný k vznícení případně i výbuchu. Touto problematikou se zabývá **zákon č. 133/85 Sb. o požární ochraně a vyhláška č. 246/2001 Sb. o stanovení podmínek požární bezpečnosti a výkonu státního požárního dozoru**, což je v podstatě vyhláška o požární prevenci (KOŘÍNEK 2006).

Ve srovnání s plyny (metan, vodík, zemní plyn) nebo kapalinami (benzín) není výbušnost prachových částic příliš rozšířené téma. Toto téma však může mít velký vliv, jelikož spousta materiálů a látek, které samy o sobě výbušné nejsou, mohou v podobě prachových částic vybuchovat. Prachové částice mají totiž nižší spodní mez výbušnosti ve srovnání s výchozím materiálem. Spodní mez výbušnosti určuje při jaké nejnižší teplotě a tlaku je daná látka schopna vybuchnout. Tato mez je stanovena na základě norem (ČSN 33 2000-3 a ČSN 33 2330) a jednotlivé látky se také testují ve zkušebních laboratořích. Takto určená hranice výbušnosti, tak musí být dodržována a kontrolována při každé související činnosti počínaje zpracováním dřeva, kde vznikají piliny a prach, přes výrobu produktů z těchto pilin, až po samotné spalování nebo případně jiné energetické využití,

kde je také třeba počítat s tím, že může dojít k vznícení nebo výbuchu. Dalšími rizikovými činnostmi, u kterých hrozí exploze, mohou být například drcení nebo mletí pilin, odprašování, přeprava hořlavého prachu atd. (KOŘÍNEK 2006).

Další oblast legislativy, která se zabývá snížení rizik související s explozí je **nařízení vlády č. 406/2004 Sb.** o bližších požadavcích za zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v prostředí s nebezpečím výbuchu. Díky tomuto zařízení lze určit jakou technologii nebo opatření je vhodné pro daný provoz použít. Kromě těchto současných opatření se nad rámec vyžadovaný legislativou instalují nové zařízení a technologie, které vycházejí z nejnovějších poznatků (KOŘÍNEK 2006).

7 ZDRAVOTNÍ RIZIKA

Dřevotřískové a laminátové desky mají vliv na zdraví člověka. Každá fáze životního cyklu těchto produktů se může negativně projevit na zdraví člověka. Ať už se jedná o výrobu, kde negativně působí např. prach z pilin, který způsobuje lidem hlavně problémy s dýcháním, kašel a také problémy s očima. Nebo o fázi používání, kde má vliv především uvolňování formaldehydu a obecně komplikace spojené se Syndromem nemocných budov. V poslední fázi tohoto cyklu dochází k likvidaci formou recyklace, kde také hrozí zdravotní rizika.

7.1 Formaldehyd

Formaldehyd je plyn bezbarvý s výrazným pronikavým zápachem. Při teplotě vyšší, jak - 19 °C dochází k varu formaldehydu, pokud teplota překročí, 150 °C začne se rozkládat na kyselinu mravenčí a oxid uhelnatý. Formaldehyd může za určitých podmínek výbušný, hořlavý a těkavý. Formaldehyd se může i odpařovat do ovzduší. V běžném městském ovzduší se velmi rychle rozpadá. Během dne je poločas rozpadu zhruba 50 minut. V závislosti na podmínkách a s rostoucím obsahem oxidu dusičitého v ovzduší, poločas rozpadu formaldehydu klesá (35 minut) (VÁLEK, VÁLEK 2015; World Health Organization; TANG 2011; Integrovaný registr znečišťování).

Formaldehyd se při měření nezjistil, jsou tam však jiné aldehydy, jak jsem zmínila už výše (tabulka č. 14). V rámci legislativy se sleduje pouze formaldehyd. Aldehydy vzniklé při měření jsou však také škodlivé (karcinogenní).

Existují normy (ČSN EN 636, EN 717-1, DIBt 100, CARB) podle kterých je daný obsah formaldehydu. Na českém trhu to je do 8 mg na 100 g absolutně suché hmoty. V Evropě se vyrábějí dřevotřísky v emisní třídě E1 (4-8 mg formaldehydu na 100 g/dřevotřískové desky) a E2 (8-30 mg formaldehydu na 100 g/dřevotřískové desky). Dle normy CARB by mělo být ve 100 g dřevotřískové desky méně než 4 mg formaldehydu.

Do procesu spalování vstupuje formaldehyd spolu s dřevotřískovou deskou. V analýze se při termickém spalování prokázaly už jiné sloučeniny aldehydů (tabulka č.14).

Tabulka 14: Aldehydy vznikající při termickém spalování

Aldehydy a ketony (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
2-hydroxybenzaldehyd	2,39	1,39	0	0,00
3,5-dichlor-2-hydroxybenzaldehyd	11,16	6,48	0	0,00
i-propyl-11,12-methylen oktadekanoát	3,19	1,85	0	0,00
naftochinon	1,59	0,93	0	0,00
sl.oktahydrofenalenon	1,2	0,69	0	0,00
sl.pyridinonu	18,34	10,65	0	0,00
spiro(2,4)heptan-5-on	0,8	0,46	0	0,00

7.1.1 Výskyt formaldehydu

Formaldehyd je v podstatě všudypřítomný. Vyskytuje se v ovzduší, půdě a tím ovlivňuje celý potravní řetězec (rostliny, živočichy). Formaldehyd se vyskytuje v prostředí zcela přirozeně, pouze však ve velmi malých koncentracích. Hlavním zdrojem je především antropogenní činnost. Formaldehyd vzniká nedokonalým spalováním především z motorů automobilů. Dalším významným zdrojem je průmysl a zpracování jeho odpadu. Vyskytuje se v teplárnách, elektrárnách, rafinériích, spalovnách odpadů a uhlí a také v cigaretovém kouři. Pro účely této diplomové práce je však podstatné, že je součástí materiálů používaných ve stavebním průmyslu, jako například izolační materiály, překližky, nábytek, lepidla a prostředky používané k čištění, desinfekci a konzervaci dřeva (BÖHM 2005; Integrovaný registr znečišťování).

Podle WHO se v ovzduší formaldehyd přirozeně vyskytuje v koncentracích menších než $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (obvykle se to pohybuje okolo $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). V závislosti na prostředí se však tyto hodnoty mohou výrazně lišit. Ve městech se koncentrace pohybují až do výše $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Vliv na tuto hodnotu má i dopravní provoz, průmyslová špička a inverze. Společně v souhrnu těchto faktorů může být koncentrace formaldehydu i několikanásobně vyšší. Česká legislativa se problematice limitů formaldehydu v ovzduší věnuje ve vyhlášce č. 356/2002 Sb. Podle této vyhlášky nesmí koncentrace formaldehydu přesáhnout

vypouštěné množství 20 mg/m^3 . Oblast, která ovlivňuje používání materiálu na bázi dřevotřísky, tudíž především interiéry, bytové a pracovní prostory je vymezena vyhláškou Ministerstva zdravotnictví č. 6/2003 Sb. Tyto prostory mohou mít zařízení vyrobené z dřevotřísky obsahující formaldehyd. Limitní koncentrace stanovena pro obytné prostory je $60 \text{ } \mu\text{g/m}^3$, v případě pracovního prostředí jsou přípustné hodnoty koncentrace, dle nařízení vlády č. 178/2001 Sb., vyšší a to 1 mg/m^3 . Z mezinárodního pohledu řeší koncentrace formaldehydu úmluva LRTAP (VÁLEK, VÁLEK 2015; World Health Organization; Integrovaný registr znečišťování).

7.1.2 Zdravotní rizika formaldehydu

Formaldehyd se do těla člověka dostává převážně vdechnutím. Dalším způsobem jak může formaldehyd proniknout do lidského těla je pomocí kůže, očima a v menší míře také ústy díky kontaminované stravě (VÁLEK, VÁLEK 2015; TANG 2011; World Health Organization; Integrovaný registr znečišťování).

Další pojem, který se v souvislosti se zdravotními riziky formaldehydu často zmiňuje je Syndrom nemocných budov (SBS - Sick Building Syndrom). SBS vzniká v důsledku nedostatečného větrání, kdy se v místnostech hromadí hlavně vlhkost, která způsobuje plísně a napomáhá k šíření bakterií a rozvoji dalších škodlivých látek. Dalším významným zdrojem SBS je zařízení interiéru. Nábytek vyrobený z dřevotřísky obsahuje mimo jiné formaldehyd, který v kombinaci s vlhkostí, teplotou a špatným větráním se uvolňuje do ovzduší, a tím je jednou z podstatných látek způsobující Syndrom nemocných budov. Mezi faktory, které dále ovlivňují SBS patří stáří nábytku, kvalita a suroviny ze které byl materiál vyroben (STADTNER 2015; World Health Organization).

Projevy formaldehydu na člověka se liší v závislosti na jeho koncentraci a době působení. Krátkodobé vystavení formaldehydu způsobuje v závislosti na odolnosti jedince bolesti hlavy, podráždění očí a dýchacích cest, únava a další. Naopak dlouhodobé působení vyšší koncentrace může způsobit silné dráždění dýchacích cest, otoky očí, které mohou vést až ke ztrátě zraku, astma, záněty plic a kůže a v nejhorším případě i smrt. Další zdravotní rizika spojená s formaldehydem jsou jeho karcinogenní a mutagenní účinky a trvalé poškození zdraví. Dle WHO jsou v tabulce č. 15 zaznamenány koncentrace a jejich působení na lidský organismus (STADTNER 2015; World Health Organization).

Tabulka 15: Působení formaldehydu na lidský organismus (World Health Organization)

Oblasti	Koncentrace (mg/m ³)
Čichový práh:	
Velmi citlivé osoby	0,06
Všeobecně platná mezní hodnota	0,15
Jasně vnímatelná mez	0,2
Na formaldehyd zvyklé osoby	1
Dráždivý účinek na oči:	
Velmi citlivé osoby	od 0,15
Všeobecně	od 0,3
Dráždivý pocit v jícnu	od 0,60
Zrychlené dýchání	od 1
Zřetelná nevolnost, píchání v nose	od 2,50
Slzení očí	od 5
Dýchací potíže	od 12
Nebezpečí života	od 35
Zpravidla smrtelná koncentrace	60

7.2 Vliv dřevozpracujícího průmyslu na zdraví dětí žijících v jeho blízkosti

Touto problematikou se zabývá studie, která byla realizovaná v průmyslové oblasti Severní Itálie mezi lety 2006 až 2009. Byla vybrána oblast okresu Viadana, která se vyznačuje vysokou koncentrací větších či menších dřevozpracujících závodů. Cílem této studie bylo vyhodnotit vliv dřevozpracujících závodů na způsobené onemocnění a následné hospitalizace u dětí v závislosti na vzdálenosti bydliště od výrobního závodu (Marchetti et al. 2014).

Sledovaná populace dětí, která byla ve věku od 3 do 14, byla rozdělena do tří skupin. V první skupině byly děti žijící více jak 2 km od zdroje znečištění. Druhou skupinou byly děti bydlící méně než 2 km od tohoto zdroje. Tato skupina dětí se dělí podle toho, zda žijí v blízkosti malého (pila) nebo velkého (výrobní dřevozpracující závod) zdroje. V prvním roce byl v uvedené populaci proveden podrobný dotazníkový průzkum. Rodiče vyplnili veškeré zdravotní údaje týkající se dětí. V další fázi byla navázána spolupráce a sesbírání data z okolních nemocnic. V průběhu následujících dvou let byly monitorovány u sledované populace dětí počty onemocnění, hospitalizací, druh a příčina nemoci (Marchetti et al. 2014).

V tabulce č. 16 jsou uvedeny počty dětí, které byly za sledované období hospitalizovány ve srovnání s těmi, u kterých se projeví nemoci související s dřevozpracujícím průmyslem. Z níže uvedené tabulky č. 17 vyplývá, že celkem bylo hospitalizováno 17,4 % dětí ze sledované populace se související diagnózou (všech hospitalizací včetně např. zlomenin bylo téměř 20 %) (Marchetti et al. 2014).

Tabulka 16: Počty hospitalizovaných dětí - upraveno (Marchetti et al. 2014)

	Počet hospitalizovaných dětí	Procento hospitalizovaných dětí
Všechny diagnózy	509	19,6%
Všechny diagnózy bez zranění a otravy	452	17,4%

Následující tabulka č. 17 uvádí, kolik ze 452 dětí trpělo typem onemocnění související se znečištěním životního prostředí (Marchetti et al. 2014).

Tabulka 17: Přehled hospitalizovaných dětí dle typu onemocnění - upraveno (Marchetti et al. 2014)

	Počet hospitalizovaných dětí	Procento hospitalizovaných dětí
Nemoci nervové soustavy	30	6,6%
Epilepsie	7	1,5%
Zrakové potíže	10	2,2%
Onemocnění uší	5	1,1%
Nemoci dýchací soustavy	124	27,4%
Akutní respirační infekce	38	8,4%
Jiné nemoci horních cest dýchacích	58	12,8%
Zápal plic a chřipka	27	6,0%

Ve sledovaném období se nejčastěji objevovaly nemoci nervové a dýchací soustavy, zápal plic a zrakové potíže. Nejvíce se u dětí žijících v blízkosti dřevozpracujících závodů projevily nemoci dýchací soustavy (27 %). Tento typ onemocnění se lišil v závislosti na vzdálenosti skupiny dětí od zdroje znečištění. Zde

platila přímá úměra, takže čím blíže dítě žilo u zdroje znečištění, tím byla větší pravděpodobnost onemocnění touto nemocí. Naopak nejméně častou diagnózou bylo onemocnění uší (pouze v 5 případech). Ve 25 % případů (112) se onemocnění objevovaly vícekrát nebo bylo spojeno více chorob najednou (Marchetti et al. 2014).

Celkově lze říct, že je zde závislost mezi vzdáleností a velikostí zdroje. Byly zde výjimky, kde například u onemocnění horních cest dýchacích byly častěji nemocné děti do 2 km od menších zdrojů znečištění (pily). Děti žijící do 2 km od velkého zdroje znečištění však byly v celkovém počtu nejčastěji nemocné (Marchetti et al. 2014).

8 DOPORUČENÍ A ZÁVĚR

Cílem bylo posoudit možnosti energetického využití odpadní biomasy a definovat problémy, které se při tomto využití mohly vyskytnout.

Při analýze vzorků (kusu dřevotřísky, dřevotřískové drti, dřevotřískového prachu, smrkového dřeva, tvrdého bukového dřeva a mleté překližky) byl zjištěn díky přístroji TGA 701 obsah popelovin, fixního uhlíku a prchavé hořlaviny. U všech testovaných vzorků byl obsah popela nízký. Průměrně se popel pohyboval okolo 1 % (nejvíce u mleté překližky - 0,95 % a naopak nejméně u smrkového dřeva - 0,23 %). Fixní uhlík tvořil 11 - 13 % obsahu. Obsah těkavých látek se u všech sledovaných materiálů pohybuje v rozmezí mezi 80 - 83 %. Pomocí přístroje kalorimetru AC 350 se stanovilo spalné teplo. Z každého gramu vzorku se uvolnilo okolo 19 MJ tepla (nejvíce u překližky mleté - 20514g/J, nejméně u prachu z dřevotřísky - 18085 g/J). Nakonec se při analýze pomocí spalovací pece CAF stanovila tavitelnost a tání popela. Teplota tání dřevotřísky je okolo 1200 °C, došlo u ní pouze ke zmenšení zkušebního jehlátku přibližně o ¼, avšak tvar jehlátku do teploty 1550°C zůstal zachován. U štěrky byla teplota tavení zhruba o 150°C nižší.

Dále byla provedena analýza jednadvaceti bodů na přítomnost různých prvků (S, N, Na, K, Ca, Mg, Al, Si, Ti a Fe). Všechny analyzované vzorky obsahovaly zbytky kůry, ve kterém byl Ca - oxalát (whewellit). Nejvíce se v částicích vyskytuje křemík (Si) v hm. % od 1,25 do 30,54 (u 10 vzorků z 21 sledovaných částic). Kromě křemíku se dále nejčastěji vyskytoval prvek draslík (K) a hliník (Al) také u 10 vzorků z 21 sledovaných částic. Dusík se vyskytl ve 21 sledovaných částicích 7krát v hm. % od 0,36 do 14,2. Nejméně často se objevoval sodík (Na), titan (Ti) a to pouze u 2 vzorků z 21 sledovaných částic.

U vodního výluhu u vzorků (prach z dřevotřísky, dřevotřísky, překližky a štěrky) byl zjištěn vysoký obsah dusičnanů a amonných iontů. To je ovlivněno přípravky sloučenin, které jsou používány při lepení materiálů.

Chování chemických látek bylo provedeno na dřevotřísce odpadního materiálu od firmy Energospol, překližky z Horbachu a čistě dřevní štěrky ze zahrady. Dále byly vzorky v muflové peci spáleny při teplotě 815 a 1050 °C. U získaného popela bylo provedeno metodou RTG-difrakční analýzy mineralogické složení popela. Popel, který vznikl při spalování 815 °C, obsahoval devět minerálů, nejvíce byl zastoupen Bredigid

(54,5 %). Při teplotě 1050 °C vzniklo více minerálů (11), nejvíce byl zastoupen CAS gehlenit. Zjistilo se, že obsah Bredigitu s rostoucí teplotou klesal. Při teplotě 1050 °C bylo už Bredigitu pouze 13,49 %. Popel z překližky obsahoval zase více množství Křemene.

Problémem při spalování je, že nám vzniká struska, která je složena z tvrdých materiálů Korundu, Anortitu, Mullitu a Rhonitu. Proto by se měla udržovat teplota pod 1200 °C, aby se vzniku strusky zabránilo. Dále být měl materiál rozdělen na jemnější a hrubší frakci, aby prohořival stejnoměrně. Dalším problémem je únik látek při spalování dřevotřískových desek, který je škodlivý pro životní prostředí i zdraví lidí. V úvahu připadá i smíchání pilin s jiným materiálem, čímž by došlo ke snížení výše uvedených negativních vlastností.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. *Aglomerované materiály*. NÁBYTKÁŘSKÝ INFORMAČNÍ SYSTÉM [online]. 2013 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/aglomerovane-materialy/page/190/>
2. ANDERT, David: *Zkušenosti ze spalování alternativních peletek*. Biom.cz [online]. 2010-01-27 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zkusenosti-ze-spalovani-alternativnich-peletek>>. ISSN: 1801-2655.
3. ANDERT, David; SLADKÝ, Václav; ABRAHAM, Zdeněk. *Energetické využití pevné biomasy*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2006. 59 s. Dostupné z WWW: <http://212.71.135.254/vuzt/poraden/prirucky/p2006_07.pdf>. ISBN 80-86884-19-8.
4. BÖHM, Martin a Jan REISNER. *Materiály na bázi dřeva* [online]. Praha: ČZU, 2011, s. 38 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: http://www.drevoastavby.cz/images/stories/deskove_materialy.pdf
5. BÖHM, Martin, Jan REISNER a Jan BOMBA. *Materiály na bázi dřeva* [online]. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012 [cit. 2017-02-19]. ISBN 978-80-213-2251-6. Dostupné z: http://fld.czu.cz/~bohmm/materialy_na_bazi_dreva.pdf
6. BÖHM, Martin. *Technologie výroby aglomerovaných materiálů* [online]. Praha: ČZU, 2005, s. 97 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z: http://fld.czu.cz/~bohmm/aglomerovane_materialy.pdf
7. FIBRICH, Petr. *Ovzduší v budovách a možná zdravotní rizika*. Praha, 2007. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Vedoucí práce Milena Černá.
8. *Formaldehyd*. Integrovaný registr znečišťování [online]. 2017 [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <http://www.irz.cz/node/43>

9. *Formaldehyde*. World Health Organization [online]. 2017 [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0014/123062/AQG2ndEd_5_8Formaldehyde.pdf
10. HORÁK, Jiří, Kamil KRPEC, Lubomír MARTINÍK, Lenka MICHNOVÁ, František HOPAN a Petr KUBESA. *Jak si doma stanovit vlhkost a výhřevnost dřeva?* Tzbinfo [online]. VŠB-TUO Výzkumné energetické centrum, 2012 [cit. 2017-04-12]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/9300-jak-si-doma-stanovit-vlhkost-a-vyhrevnost-dreva>
11. HSI, Chih-Lun; KUO, Jing T. *Estimation of fuel burning rate and heating value with highly variable properties for optimum combustion control*. Biomass&Bioenergy. 2008, vol. 32, no. 12, p. 1255-1262. ISSN 0961-9534. Dostupný též z WWW: doi:10.1016/j.biombioe.2008.03.00
12. INDRÁK, Jaroslav. *Výroba dřevotřískových desek* [online]. 2012, 6 [cit. 2017-02-19]. Dostupné z: www.zlinskedumy.cz/download/7004-VY_32_INOVACE_IND110.pdf
13. JAKUBES, Jaroslav, Helena BELLINGOVÁ a Michal ŠVÁB. *Moderní využití biomasy: Technologické a logistické možnosti* [online]. Česká energetická agentura, 2006 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/02.pdf>
14. JANDAČKA, Jozef, Milan MALCHO a Marian MIKULÍK. *BIOMASA AKO ZDROJ ENERGIE: Potenciál, druhy, bilancia a vlastnosti paliv*. Žilina: GEORG, 2007, 241 s. ISBN 978-80-969161-3-9.
15. JEVIČ, Petr. *Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých paliv na bázi agrárních bioproduktů: metodická příručka*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. ISBN 978-80-86884-42-4.

16. JÍLKOVÁ, Lenka, Karel CIAHOTNÝ a Radek ČERNÝ. *Technologie pro pyrolýzu paliv a odpadů* [online]. Praha, 2012 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z: paliva.vscht.cz/download.php?id=76
17. JUCHELKOVÁ, Dagmar; RACLAVSKÁ, Helena. (2009): *Biomasa multimediální CD-ROM*
18. JURSIK, F. *Anorganická chemie kovů*. 1. vyd. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2005. ISBN 80-7080-504-8.
19. KEMÉNYOVÁ, Zuzana. *IKEA začala vykupovat své použité zboží. Chce také svůj nábytek pronajímat*. Hospodářské noviny [online]. 2017 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://m.ihned.cz/c1-65602000-ikea-zacala-vykupovat-sve-pouzite-zbozi-chce-take-svuj-nabytek-pronajimat>
20. KOLÁŘOVÁ, Helena, Vladimír KOZLÍK a Vít ŠEDIVÝ. *Odpad z energetiky. Odpadové fórum* [online]. EPOS, 2005, (3) [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.tretiruka.cz/news/vyuziti-popele-ze-spalovani-biomasy/>
21. KOŘÍNEK, K. *Požárně technické charakteristiky prachů a jejich význam v technické praxi*. CHEMagarzín [online]. 2006 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.bozpinfo.cz/pozarne-technicke-charakteristiky-prachu-jejich-vyznam-v-technicke-praxi>
22. KOTLÁNOVÁ, Alice: *Metody zkoušení fyzikálně-chemických vlastností tuhých biopaliv*. Biom.cz [online]. 2010-06-30 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/metody-zkouseni-fyzikalne-chemickych-vlastnosti-tuhych-biopaliv>>. ISSN: 1801-2655.
23. Kronospan: *Organization and enviroment*. KRONOSPAN [online]. 2017 [cit. 2017-02-11]. Dostupné z: <http://www.kronospan-worldwide.com>

24. KUBÍČEK, Jiří. *Vlastnosti biopaliv ve vztahu k jejich spalování a zplyňování*. Energie z biomasy – seminář 2003. 47s. [online]. [cit. 2017-03-11]. Dostupný též z WWW: <http://oei.fme.vutbr.cz/konfer/biomasa/Kubicek.pdf>
25. LIBRA, Martin; POULEK, Vladislav. *Zdroje a využití energie*. První. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2007. 141 s. ISBN 978-80-213-1647-8.
26. LYČKA, Zdeněk. *Dřevní peleta - co možná nevíte* [online]. 2011 [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.ralskopelet.cz/comoznanevite.html>
27. LYČKA, Zdeněk: *Dřevní peleta II*. LING Vydavatelství s.r.o. Krmov. 2011. ISBN 978-80-904914-1-0
28. MALAŤÁK, Jan; VACULÍK, Petr. *Biomasa pro výrobu energie*. První. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. 206 s. ISBN 978-80-213-1810-6.
29. MALAŤÁK, J.; JEVIČ, P.; KARANSKÝ, J.; PŘIKRYL, M.; GÁLIK, R.. *Emission characteristics of biomass – based briquets*. Act atecnologica agriculturae – The Scientific Journal for agricultural engineering, SPU Nitra 2005, s. 48-52, ISSN 1335-2555.
30. MALAŤÁK, J.; PLÍŠTIL, D.; PŘIKRYL, M.; *Emission Characteristic of Solid Biomass in the Combustion Equipment*. In.: International Conference–Collection of Abstracts ,Science and Research Tools of Global Development Strategy, Czech University of Agriculture Prague, Technical Faculty 2004, s. 27, ISBN 80-213-1187-8.
31. Marchetti Pierpaolo, Marcon, A., Pesce, G., Girardi, P. (2014): *Children living near chipboard and wood industries are at an increased risk of hospitalization for respiratory diseases: A prospective study*. International Journal of Hygiene and Environmental Health 217 (2014) 95–101

32. MURTINGER, K., BERANOVSKÝ, J. *Energie z biomasy*. 1. vyd. Brno, 2011, 106 s. Stavíme. ISBN 978-80-251-2916-6.
33. NUTSCH, Wolfgang. *Průručka pro truhláře*. 2., přeprac. vyd. Praha: Europa-Sobotáles, 2006. ISBN 80-86706-14-1.
34. OBERNBERGER, I. *Decentralized biomass combustion: state of the art and future development*. Biomass and Bioenergy. 1998, vol. 14, pp. 33–56.
35. OBERNBERGER, I., BRUNNER, T., BARNTHALER, I. *Chemical Properties of Solid Biofuels - Significance and Impact*. Biomass and Bioenergy. 2006, vol. 27, pp. 653–669.
36. PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav; JEVIČ Petr. *Biomasa - Obnovitelný zdroj energie*. FCC Public, 2004, 286 s. ISBN 80-86534-06-5.
37. PETRLÍK, Jindřich, Petr VÁLEK *Formaldehyd*. ARNIKA [online]. 2014 [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <http://arnika.org/formaldehyd>
38. POHOŘELÝ, Michael, Michal JEREMIÁŠ, Petra KAMENÍKOVÁ, Sjarhei SKOBLIA, Karel SVOBODA a Miroslav PUNČOCHÁŘ. *Zplyňování biomasy* [online]. Praha, 2011 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2012_04_264-274.pdf
39. RICHTER, Miroslav. *Technologie ochrany životního prostředí*. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně v Ústí nad Labem, Fakulta životního prostředí, 2008. ISBN 978-80-7414-042-6.
40. SHARPLES, J. J.; MCRAE, R. H. D; WEBER, R. O.; GILL, A. M. *A simple index for assessing fuel moisture content*. Environmental Modelling&Software. 2009, vol. 24, no. 5, p. 637-646. ISSN 1364-8152. Dostupný též z WWW: doi:10.1016/j.envsoft.2008.10.01

41. SKÁLA, Zdeněk a Tadeáš OCHODEK. *Energetické parametry biomasy* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2007 [cit. 2017-03-04]. ISBN 978-80-214-3493-6. Dostupné z: <http://www.eu.fme.vutbr.cz/uploads/OEI/enparbio.pdf>
42. SNOP, Roman. *Současný stav využívání vedlejších energetických produktů v ČR* [online]. 2013 [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/soucasny-stav-vyuzivani-vedlejsich-energetickych-produktu-v-cr/>
43. STADTNER, Alex. *Sick Building Syndrome and Building Related Illness*. Healthy bulding science [online]. 2015 [cit. 2017-02-21]. Dostupné z: <http://healthybuildingscience.com/2015/10/02/sick-building-syndrome-and-building-related-illness/>
44. ŠAFÁŘ, Michal, Helena RACLAVSKÁ, Karla KRYŠTOFOVÁ, Konstantin RACLAVSKÝ, Marek KUCBEL a Barbora ŠVÉDOVÁ. *Problems with utilisation of engineering wood for energy purposes* [online]. VŠB – Technical University Ostrava, 2017, 6 [cit. 2017-03-21].
45. TANG, X. Q., REN, Y. K., CHEN, R. Q., ZHUANG, Y. Y., FANG, H. R., XU, J. H., WANG, C. Y., HU, B., 2011. *Formaldehyde induces neurotoxicity to PC12 cells involving inhibition of paraoxonase-1 expression and activity*. Clin. Exp. Pharmacol. Physiol. 38, 208–214.
46. VÁŇA, Jaroslav. *Využití popele ze spalování biomasy*. Tretiruka [online]. 2010 [cit. 2017-04-01]. Dostupné z: <http://www.tretiruka.cz/news/vyuziti-popele-ze-spalovani-biomasy/>
47. VOKATÝ, Roman. *Porovnání produktů pyrolýzy měkkých německých uhlí a biomasy*. Paliva. 2011, vol. 3. Dostupný z WWW: <http://paliva.vscht.cz/cz/archiv-clanku/detail/13>

48. *Vyhláška č. 93/2016 Sb. o Katalogu odpadů*. 2016, 38/2016. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-93>
49. WANG, Song-Yung et al. *Properties of low-formaldehyde-emission particleboard made from recycled wood-waste chips sprayed with PMDI/PF resin* [online]. 2007 [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132306001673>
50. WANG, Song-Yung. et al. *Fire-retardant-treated low-formaldehyde-emission particleboard made from recycled wood-waste* [online]. 2008 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852407002970>
51. WORRELL, Ernst a M. A. REUTER. *Handbook of recycling: state-of-the-art for practitioners, analysts, and scientists*. Boston: Elsevier, 2014. ISBN 9780123964595.
52. YANGA, Te-Hsin et al. *Characteristics of particleboard made from recycled wood-waste chips impregnated with phenol formaldehyde resin* [online]. 2007 [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132305003628>
53. *Zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech*. 2001, 71/2001. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185#cast2>
54. *Zákon č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší*. 2012, 69/2012. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
55. ZÁMOSTNÝ, Petr a Ladislav KURC. *Vliv podmínek a složení suroviny na pyrolýzu dřevní hmoty* [online]. Praha, 2011 [cit. 2017-03-04]. Dostupné z: http://www.chemicke-listy.cz/docs/full/2011_06_458-466.pdf

Aneta Pšeníková: Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových
desek

56. *Zdřevěnělý odpad: Plýtváš, plýtvám, plýtváme*. Třídění odpadu [online]. [cit. 2017-03-27]. Dostupné z: <http://www.trideniodpadu.cz/drevo>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

UF	močovinoformaldehydová lepidla
PF	fenolformaldehydová lepidla
MF	melaminformaldehydová lepidla
WHO	World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)
LRTAP	Long-range Transboundary Air Pollution (Úmluvě o znečištění ovzduší přesahujícím státní hranice)
SBS	Sick Building Syndrom (Syndrom nemocných budov)
OSB	Oriented strand board (Desky z plochých orientovaných třísek)
HPL	vysokotlaké laminátové desky
DT	deformation temperature (teplota deformace)
ST	sphere temperature (teplota měknutí)
HT	hemisphere temperature (teplota tání)
FT	flow temperature (teplota tečení)
TGA	Automatická termogravimetrická analýza

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Diagram výroby dřevotřískových desek (BÖHM 2005).....	4
Obrázek 2: Výhřevnost a spalné teplo v závislosti na době sušení (HORÁK et al. 2012)	12
Obrázek 3: Kalorimetr LECO AC 350	18
Obrázek 4: přístroj TGA 701	19
Obrázek 5: Spalovací pec CAF - Digital Coal Ash Fusibility Test Furnaces, Carbolite, UK	19
Obrázek 6: jehlinky popela dřevotřísky a překližky	20
Obrázek 7: tavitelnost jehlinek popela dřevotřísky a překližky	20
Obrázek 8: SEM - Bílé krystaly whewellitu v dřevotřísce	22
Obrázek 9: SEM - Prach a popel v dřevotřísce	22
Obrázek 10: SEM - Bílé krystaly whewellitu v překližce	23
Obrázek 11: SEM - Částice SiO ₂ v překližce	23
Obrázek 12: Struska	27
Obrázek 13: Spečenec – pozice je vyznačena v obrázku č. 6	27
Obrázek 14: Spečenec – pozice vyznačena na obrázku č. 6	28

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Výhřevnost biopaliva v závislosti na vlhkosti (JUCHELKOVÁ, RACLAVSKÁ 2009).....	12
Tabulka 2: Příklady teplot tavitelnosti popela (JEVIČ 2008).....	15
Tabulka 3: Metody stanovení energetických parametrů	17
Tabulka 4: Analýza vzorků dle obsahu jednotlivých látek teploty tání a spalného .	21
Tabulka 5: Rozsahy koncentrací (hm.%) a počet výskytu prvků ve zkoumaných částicích.....	21
Tabulka 6: Chemické složení popela (hm.%) (ŠAFÁŘ et al. 2017).....	25
Tabulka 7: Mineralogické složení popela (hm.%) u sledovaných vzorků (ŠAFÁŘ et al. 2017)	26
Tabulka 8: Chemické složení strusky (hm.%)	27
Tabulka 9: Mineralogické složení spečence	28
Tabulka 10: Obsah ligninu a celulózy ve sledovaných vzorcích	29
Tabulka 11: Koncentrace BTEX a sloučenin benzenu (ug/g) uvolněných při termickém rozkladu.....	30
Tabulka 12: Parametry zjištěné ve vodném výluhu u sledovaných vzorků.....	31
Tabulka 13: Třetí skupina katalogu odpadů - upraveno (Vyhláška č. 93/2016 Sb.)	40
Tabulka 14: Aldehydy vznikající při termickém spalování	44
Tabulka 15: Působení formaldehydu na lidský organismus (World Health Organization)	46
Tabulka 16: Počty hospitalizovaných dětí - upraveno (Marchetti et al. 2014).....	47
Tabulka 17: Přehled hospitalizovaných dětí dle typu onemocnění - upraveno (Marchetti et al. 2014).....	47

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Křivka úbytku hmotnosti dřevotřískové desky při spalování.....	24
--	----

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Chemická analýza vybraných materiálů.....	64
--	----

PŘÍLOHY

Příloha 1: Chemická analýza vybraných materiálů

Hydraziny (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
1,2-dimethylhydrazin	0,8	0,46	19,35	25,26
1,1-dimethylhydrazin	1,2	0,69	0	0,00
BTEX a sloučeniny benzenu (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
(1-methyl-1-propenyl)benzen	1,99	1,16	0	0,00
1,1'-metylenbis(2-methyl)benzen	12,76	7,41	0	3,95
1,2,3-trimethoxybenzen	8,77	5,09	0	0,00
1,2,3-trimethylbenzen	1,59	0,93	0	0,00
1,2-dihydroxybenzen (katechol)	53,43	31,02	1,64	1,05
1,3,4-trimethoxybenzen	5,58	3,24	0	0,00
1,3,5-trimethoxybenzen	4,39	2,55	0	0,00
1,3-diethenylbenzen	5,98	3,47	0	0,00
1-ethenyl-3-methylbenzen	14,75	8,56	0	0,00
1-methylethenylbenzen	1,59	0,93	0	0,00
1-methylethylbenzen	9,97	5,79	0	0,00
1-propynylbenzen	1,59	0,93	0	0,00
2-propenylbenzen	3,99	2,31	0	0,00
benzen	82,54	47,92	19,68	15,00
ethylbenzen	3,59	2,08	0	0,00
m-xylen	23,92	13,89	0	0,00
p-xylen	19,94	11,57	0	0,00
styren	2,39	1,39	0	0,00
toluen	68,98	40,05	13,45	13,68
4-methyl-1,2-benzendiol	24,32	14,12	0,33	0,00
2-methyl-1,2-benzendiol	18,74	10,88	0	0,00
3-methyl-1,2-benzendiol	18,34	10,65	0,98	0,00
Alkany+cykloalkany (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
1,2-bis(metylen)cyklobutan	4,78	2,78	2,3	7,63
1,3-diazabicyklo(3,1,0)hexan	5,18	3,01	7,22	12,37
1,4-dimethylbicyklo(2,1,0)pentan	1,2	0,69	38,37	32,37
1,7,11-trimethyl-4-(1-methylethyl)cyklotetradekan	11,56	6,71	0	0,00
17-pentatriakontan	5,58	3,24	0,33	3,16
1-ethenyloxyhexadekan	5,98	3,47	0	0,00
1-methyl-2-oktylcyklopropan	7,18	4,17	0	0,00
1-methyl-2-pentylcyklopropan	7,97	4,63	0	0,00
1-methyleikosan	11,96	6,94	0,98	0,79
2-methoxy-decylfenylmetan	5,18	3,01		0,00

Aneta Pšenícová: Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových
desek

2-methyleikosan	19,14	11,11	1,64	2,37
2-methylhentriakontan	6,38	3,7	0	0,00
cyklohexadekan	5,98	3,47	1,64	1,05
cyklopentadekan	9,17	5,32	0	0,00
cyklotetradekan	7,18	4,17	5,58	16,58
cyklotridekan	2,79	1,62	12,13	4,21
cyklotriakontan	15,15	8,8	0	0,00
dokosan	10,77	6,25	6,23	0,79
eikosan	13,96	8,1	6,23	5,00
heneikosan	11,56	6,71	7,54	6,32
heptadekan	1,99	1,16	0,98	6,05
hexadekan	10,37	6,02	0,98	21,05
hexakosan	11,96	6,94	7,54	1,58
nonadekan	8,77	5,09	0	1,58
oktadekan	12,76	7,41	0	3,42
pentadekan	3,99	2,31	0,66	18,95
tetradekan	7,58	4,4	0	0,00
tetrapentakontan	30,3	17,59	1,31	0,00
tridekan	6,38	3,7	0	0,00
trikosan	9,57	5,56	0	0,00
undekan	8,37	4,86	0	0,00
cyklododekan	8,37	4,86	0	0,00
tetrakosan			7,54	0,00
Alkeny+cykloalkeny (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
17-pentatriakonten	6,78	3,94	20,66	78,95
1-deken	5,58	3,24	4,26	41,05
1-ethenyl-3-methylencyklopenten	0,4	0,23	28,2	5,00
1-oktadeken	15,55	9,03	1,64	8,42
1-pentadeken	5,18	3,01	10,82	6,32
1-tetrakosen	9,17	5,32	3,61	9,74
2-methyl-2-dokosen	8,37	4,86	9,51	6,05
2-methyl-7-nonadeken	3,59	2,08	1,97	12,11
2-methyl-E-7-oktadeken	1,99	1,16	7,87	10,53
2-oktadeken	9,97	5,79	4,26	7,89
3-eikosen	11,16	6,48	3,28	12,11
3-ethenylcyklopenten	0,8	0,46	0	0,00
3-methylencyklohexen	1,2	0,69	0	0,00
5-eikosen	33,09	19,21	181,69	27,37
5-oktadeken	21,93	12,73	165,95	16,84
4-oktadeken	11,96	6,94	0	0,00
5-undeken	0,4	0,23	20,66	40,00
ceten	13,16	7,64	0	0,00

Aneta Pšenícová: Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových
desek

cyklohepten	3,59	2,08	0	0,00
heptadeken	16,75	9,72	1,31	6,84
heptakosen	5,98	3,47	7,54	27,89
hexakosen	13,56	7,87	5,25	7,63
nonadeken	5,98	3,47	5,25	10,26
nonakosen	6,78	3,94	3,94	10,00
oktakosen	4,39	2,55	3,94	3,16
pentakosen	5,18	3,01	0,33	14,21
triakonten	7,18	4,17	83,96	4,74
tricyklo/8,2,2,2(4,7)hexadeka- 2,4,6,8,10,12,13,15-oktaen	35,89	20,83	5,9	9,74
trikosen			10,82	28,68
trideken	11,16	6,48	5,25	27,63
Alkadieny+cykloalkadieny (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
1,3,5-hexatrien	1,99	1,16	0	0,00
1,3-cyklohexadien	25,92	15,05	0	15,80
1,4-cyklohexadien	5,18	3,01	22,63	0,00
1-methyl-1,3-cyklopentadien	10,37	6,02	0	0,00
benzocykloheptatrien	4,39	2,55	0	0,00
bicyklo(4,2,0)okta-1,3,5-trien	59,81	34,72	0	0,00
spiro(3,3)hepta-1,5-dien	0,4	0,23	0	0,00
Alkiny (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
1-(2,2-dimethylcykloropyl)-2- fenylacetylen	3,19	1,85	0	0,00
1,1-difenylethylen	12,36	7,18	0	0,00
1,6-hepta-3-diin	1,99	1,16	1,69	0,00
2-methyl-1,3-pentin	1,2	0,69	1,52	1,84
fenylethin	9,97	5,79	0	0,00
oktin	1,2	0,69	0	0,53
Aldehydy a ketony (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
1-(2,3,4-trimethylfenyl)etanon	3,19	1,85	0,66	0,26
1-(4-methyl-1H-pyrazolyl)etanon	9,97	5,79	0	0,00
2-cyklopentenon	3,19	1,85	0,33	1,58
2-hydroxy-3-methyl-2- cyklopentenon	9,57	5,56	8,2	9,21
2-hydroxybenzaldehyd	2,39	1,39	MD	MD
2-methyl-2-cyklopentenon	3,59	2,08	1,97	2,37
2-oktylcyklopropanoktanal	3,19	1,85	0	0,00
3,5-dichlor-2-hydroxybenzaldehyd	11,16	6,48	MD	MD
4-(1-methylethyl)benzaldehyd	3,59	2,08	5,58	0,79
4,4-dimethyl-2-cyklopentenon	1,2	0,69	0	1,74

Aneta Pšenícová: Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových desek

5,5-dimethylspirohexan-4-on	1,59	0,93	0	0,00
acetofenon	2,79	1,62	0,66	2,37
benzenacetaldehyd	4,39	2,55	2,95	0,79
cyklododekanon	6,78	3,94	11,48	1,84
hexadekenal	4,78	2,78	0	1,58
hydrochinon	2,79	1,62	0,66	1,05
i-propyl-11,12-methylen oktadekanoát	3,19	1,85		
naftochinon	1,59	0,93		
sl.oktahydrofenalenon	1,2	0,69		
sl.pyridinonu	18,34	10,65		
spiro(2,4)heptan-5-on	0,8	0,46		
benzaldehyd			4,59	0,79
2-butenon			2,95	1,58
2-(1H)-pyrimidinon			1,31	3,42
4(1H)-pyrimidinon			0,98	8,42
dihydro-2,4(1H,3H)-pyrimidindion			16,4	15,53
7-oktadekanon			0,66	2,37
4,6-dimethyl-2(1H)-chinolinon			0,66	0,53
dekanal			2,62	14,47
Alkoholy (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
1,1-cyklohexandimethanol	2,79	1,62	10,82	8,56
1H-indenol	21,13	12,27	0,66	0,79
2-(4- chlorfenylsulfonylamino)pyridinol	12,36	7,18	13,45	1,32
2-(tetradekyloxy)etanol	3,99	2,31	2,95	1,05
2-furanmethanol	2,39	1,39	7,22	5,79
2-methyl-1-naftalenol	6,78	3,94	9,84	1,05
2-methyl-5-hexynol	1,59	0,93	5,58	4,21
2-oktyldekanol	9,97	5,79	2,3	4,21
3-fenyl-2-propynol	6,78	3,94	0,33	0,00
fluoren-9-methanol	9,17	5,32	5,58	1,05
indeno(1,2-b)pyridinol	4,78	2,78	2,3	0,79
methyl-m-tolyl karbinol	4,39	2,55	7,87	1,58
sl.fenantrenolu	10,37	6,02	18,04	11,05
z-11-pentadekenol	5,98	3,47	19,35	21,17
4,8,12,16-tetraoxaekoisanol			4,26	0,00
Furany+pyrany+benzofurany (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
2-(2-propenyl)furan	1,59	0,93	8,2	49,74
2(3H)benzofuranon	13,56	7,87	16,73	0,00

Aneta Pšenícová: Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových
desek

2(5H)-furanon	5,98	3,47	12,13	0,00
2(-chlormethyl)tetrahydropyran	3,99	2,31	0	0,00
2,3-dihydrobenzofuran	33,89	19,68	9,18	12,15
2,3-dihydrofuran	3,99	2,31	7,22	5,21
2,4-dimethylfuran	7,18	4,17	17,71	12,52
2,5-dimethylfuran	2,79	1,62	19,68	14,50
2H-pyran-2-on	1,59	0,93	7,87	5,25
2-methylbenzofuran	12,36	7,18	6,89	1,05
3-vinylfuran	0,4	0,23	0	0,00
4-methyldibenzofuran	11,96	6,94	0	0,00
benzofuran	25,12	14,58	14,76	8,96
dibenzofuran	11,96	6,94	12,79	4,52
furfural	17,94	10,42	16,07	17,89
sl. 2H-pyran	3,99	2,31	18,69	2,63
5-methyl-2-furankarboxaldehyd	0	10,25	1,97	2,63
5-hydroxymethylfurfural	0	5,36	34,76	32,75
3,4-dihydro-2H-pyran			4,26	0,00
2,4-dimethyl-3(2H)-benzofuranon			1,97	0,00
Heterocyklické sloučeniny dusíku (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
1,4-benzendiamin	2,79	1,62	13,12	5,62
13-dokosenamid	16,35	9,49	0	0,00
1-methyl-1H-imidazol	5,58	3,24	0	0,00
1-methylpyridin	3,19	1,85	0,78	0,65
2,4-dimethyl-1H-imidazol	1,99	1,16	0	0,00
2,5-dimethyl-1H-pyrol	1,99	1,16	0	0,00
2-ethenylpyridin	1,2	0,69	0,33	0,29
2-fluorenamin	5,18	3,01	0	0,00
2-methyl-1H-pyrazol	8,37	4,86	0	0,00
2-methyl-1H-pyrol	0,8	0,46	0	0,00
2-methyl-7-fenylindol	1,59	0,93	7,87	5,56
2-methylpyridin	3,19	1,85	0	0,00
2-pyridindiamin	1,2	0,69	0,25	0,79
3,5-dihydroxybenzamid	8,77	5,09	0	0,00
3-methylindol	4,78	2,78	0,66	1,32
3-methylpyridazin	2,39	1,39	0	0,00
3-methylpyridin	1,2	0,69	0	0,00
4,5-dihydro-2-methyl-1H-imidazol	5,18	3,01	1,64	2,89
4-aminopyridin	0,8	0,46	0	0,00
4-chloropyridin-3-sulfoamid	4,39	2,55	0	0,00
4-methylpyridin	0,4	0,23	18,37	10,26
5-ethenyl-2-methylpyridin	1,99	1,16	2,3	2,69

Aneta Pšenícová: Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových
desek

8-methyl-6-nonenamid	14,75	8,56	7,22	6,25
aminopyrazin	5,98	3,47	0	0,00
močovina	7,18	4,17	0	0,00
n-(5-oxo-tetrahydro-furanylmethyl)acetamid	6,78	3,94	0	0,00
n,n-dimethylenmočovina	10,77	6,25	0	0,00
n-methoxy-n-acetyl-2-karbomethoxyethylamin	21,53	12,5	0	0,00
oktadekanamid	29,11	16,9	1,31	3,68
pyrazin	3,99	2,31	5,25	4,21
pyridin	8,37	4,86	4,59	3,25
pyrimidin (1,3-diazin)	0,8	0,46	0,98	2,11
pyrol	7,97	4,63	0	0,00
sl. S obsahem karboimidů	9,97	5,79	0	0,00
sl.aminů	7,18	4,17	2,95	0,79
tetracetyl-d-glukosamin	3,59	2,08	0	0,00
tetradekanamid	24,72	14,35	1,64	11,58
n-ethyl-n,n-dimethyl-1,2-ethandiamin	1,2	0,69	0	0,00
sl.acetamidu			2,3	0,00
Nitrily (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
2-methylbenzonitril	16,75	9,72	0,98	0,53
alfa-methylenbenzenacetonitril	4,78	2,78	0	0,00
benzonitril	5,98	3,47	21,32	10,53
benzylitril	5,58	3,24	22,96	12,26
hexadekannitril	5,98	3,47	0	0,00
sl.acetonitrilu	4,78	2,78	0	0,00
Fenoly (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
6-benzyl-4-methyl-2-vinylfenol	2,39	1,39	0	0,00
2,4,6-trimethylfenol	6,38	3,7	0	0,00
2,4-dimethylfenol	20,33	11,81	0,33	0,53
2,5-dimethylfenol	7,58	4,4	0,66	0,53
2,6-dimethoxy-4-(2-propenyl)fenol	9,97	5,79	3,28	1,58
2,6-dimethoxyfenol	9,97	5,79	5,9	0,53
2-ethyl-4-methylfenol	3,99	2,31	2,96	1,05
2-ethyl-5-methylfenol	5,98	3,47	0	0,00
2-ethylfenol	6,38	3,7	21,65	20,26
2-isopropoxyfenol	25,92	15,05	0	0,00
2-methoxy-4-(1-propenyl)fenol	17,54	10,19	1,97	3,42
2-methoxy-4-vinylfenol	15,95	9,26	6,89	8,16
2-methoxyfenol	6,78	3,94	6,98	5,53

Aneta Pšenícová: Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových
desek

2-methylfenol	27,11	15,74	0,66	0,79
2-nitrofenol	3,59	2,08	0,74	0,26
3-allylfenol	16,75	9,72	0,98	0,53
3-ethyl-5-methylfenol	4,78	2,78	8,53	7,89
3-ethylfenol	14,75	8,56	18,69	17,84
4-(1E-3-hydroxy-1-propenyl)-2-methoxyfenol	12,36	7,18	0	0,00
4-cyklohepta-2,4,6-trienyl-fenol	5,18	3,01	0	0,00
4-ethyl-2-methylfenol	4,78	2,78	4,92	5,79
4-methylfenol	46,25	26,85	0,33	0,79
fenol	58,61	34,03	6,23	4,20
resorcinol (1,3-benzendiol)	6,38	3,7	0	0,00
4-methoxyfenol			4,59	5,56
isoeugenol (4-hydroxy-3-methoxy-1-propenylbenzen)			10,17	10,41
4-allyl-2-methoxyfenol			4,92	8,42
2-methoxy-4-(1-propenyl)fenol				17,37
Oxaziny (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
3,6-dihydro-3-methyl-2H-1,2-oxazin	3,99	2,31	0	0,00
PAU, deriváty, bifenily (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
1,1a,6,6a-tetracykloprop(a)inden	6,38	3,7	4,59	2,63
1,2,3,3a-tetrahydrocyklopenta(def)fenantren	3,59	2,08	2,62	1,32
1,2-dihydro-3-methylnaftalen	3,99	2,31	11,48	9,47
1,2-dihydro-6-methylnaftalen	5,18	3,01	0,98	0,79
1,2-dihydrofenantren	9,17	5,32	0,33	1,05
1,3-dimethyl-1H-inden	3,19	1,85	2,3	2,11
1,3-dimethylpyren	5,98	3,47	11,48	55,53
1,6-dimethylnaftalen	2,79	1,62	4,59	0,53
1,7-dimethylnaftalen	3,99	2,31	3,28	2,63
11H-benzo(a)fluoren-11-on	8,37	4,86	1,75	1,55
1-ethyliden-1H-inden	4,39	2,55	0	1,05
1-ethylnaftalen	8,77	5,09	7,22	4,47
1H-fenalen	8,37	4,86	0,89	0,53
1H-fenalenon	3,99	2,31	3,28	0,53
1-hydroxyfluoren	6,78	3,94	0	0,00
1-methyl-1H-inden	9,57	5,56	2,26	3,16
1-methylantracen	9,17	5,32	0	0,00
1-methylfenantren	7,18	4,17	0	0,00
1-methylnaftalen	28,71	16,67	0,66	0,79
1-methylpyren	36,28	21,06	9,8	8,16

Aneta Pšenícová: Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových
desek

2-(1-methylethenyl)naftalen	9,57	5,56	3,61	3,95
2,3-dimethylnaftalen	5,98	3,47	5,9	4,21
2,7-dimethylnaftalen	12,36	7,18	2,3	1,84
2-ethenylnaftalen	12,76	7,41	0	2,63
2-ethylnaftalen	15,55	9,03	61,66	11,58
2-hydroxyfluoren	5,98	3,47	0	0,20
2-methyl-1,1'-bifenyl	7,97	4,63	1,59	1,05
2-methyl-9H-fluoren	9,57	5,56	0	0,00
2-methylantracen	7,97	4,63	0	0,00
2-methylfenantren	5,58	3,24	0,66	3,42
2-methylfluoranten	6,78	3,94	2,62	2,63
2-methylinden	31,1	18,06	1,64	3,16
2-methylisochinolin	2,39	1,39	0	0,00
2-methylnaftalen	21,53	12,5	0,66	1,08
2-methylpyren	25,12	14,58	1,97	1,32
3-(1-methylethyl)-1,1'-bifenyl	5,98	3,47	0	0,00
3-ethylnaftalen	8,37	4,86	3,98	7,11
3-hydroxybifenyl	7,97	4,63	0	0,00
3-methyl-1,1'-bifenyl	6,78	3,94	0	0,00
3-methylpyren	7,97	4,63	3,94	4,21
4-(1methylethyl)-1,1'-bifenyl	6,38	3,7	1,02	1,32
4b,10b-dihydro-4b,10b-methanochrysen	7,97	4,63	0	0,00
4-ethenyl-1,1'-bifenyl	3,19	1,85	0	0,00
4-methyl-1,1'-bifenyl	3,19	1,85	0	0,00
5-methenyl-1,1'-bifenyl	12,76	7,41	0	0,00
7H-benz(de)antracen-7-on	4,78	2,78	0,98	1,11
9,10-antracendion	6,78	3,94	0	0,00
9,10-dihydro-1-methylfenantren	6,78	3,94	0	0,00
acenaften	11,56	6,71	60,02	62,37
acenaftylen	35,09	20,37	15,09	6,32
antracen	15,55	9,03	10,33	11,84
azulen	16,75	9,72	0	0,26
benz(a)antracen	9,17	5,32	0	0,00
benzo(a)pyren	8,77	5,09	3,28	4,47
benzo(b)fluoranthén	9,17	5,32	5,58	2,11
benzo(k)fluoranthén	11,16	6,48	14,1	2,11
bifenyl	17,15	9,95	0	0,00
fenantren	7,18	4,17	2,92	5,00
fenantridin	5,58	3,24	1,15	1,18
fluoraten	19,54	11,34	4,59	7,52
fluoren	8,37	4,86	10,98	11,84
chrysen	19,54	11,34	13,45	13,42

Aneta Pšenícová: Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových desek

inden	33,49	19,44	6,56	3,68
indeno(1,2,3-cd)pyren	8,37	4,86	2,15	1,58
isochinolin	9,97	5,79	6,89	0,79
naftalen	46,65	27,08	61,98	61,05
pyren	37,88	21,99	3,94	6,32
reten	12,76	7,41	0,79	55,00
chinolin			0,33	6,32
Karboxylové kyseliny (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
14-pentadekenová kyselina	7,97	4,63	0,66	3,42
1H-imidazol-2-karboxylová kyselina	1,99	1,16	0,54	0,26
22-trikosenová kyselina	11,16	6,48	1,64	1,05
2-methyl-2-propenová kyselina			2,3	4,11
2-propenová kyselina			2,95	3,16
3-chinolinkarboxylová kyselina	2,79	1,62	1,97	8,68
4-ethoxybenzoová kyselina			0,33	5,79
4-hexadecyl ester 2-fluorbenzoové kyselina	5,18	3,01	2,3	2,37
9-oktadekenová kyselina	17,54	10,19	7,87	8,42
benzoová kyselina			2,62	2,29
bicyklo(2,2,2)okten-1-karboxylová kyselina	2,79	1,62	2,85	2,63
bis(2-ethylhexyl) ester 1,4-benzendikarboxylová kyselina	24,72	14,35	4,26	8,16
butynyl tetradecyl ester uhličitě kyseliny	20,33	11,81	12,79	2,11
cis-10-nondekenová kyselina	5,58	3,24	5,58	3,42
cis-13-eikosenová kyselina	5,98	3,47	1,31	1,90
cis-vakcenová kyselina			1,8	4,47
dodecyl ester uhličitě kyseliny	9,57	5,56	0,66	0,79
dokosyl ester dokosanové kyseliny	6,38	3,7	1,18	1,32
eikosyl ester 9-hexadekenová kyselina	7,97	4,63	4,43	3,95
eruková kyselina			4,26	3,16
fenyl ester kyseliny octové	5,98	3,47	2,33	5,26
heptadecyl ester cyklopropankarboxylové kyseliny	5,98	3,47	9,51	5,26
hexadecyl ester benzoové kyseliny			2,24	0,79
hexadecyl ester hexadekanová kyselina	17,54	10,19	4,92	6,05

Aneta Pšenícová: Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových desek

hexadecyl ester pentadekafluorooktanová kyselina	7,97	4,63	5,9	11,58
hexadekanová kyselina	19,54	11,34	22,63	18,16
hydrazid maleinové kyseliny			0,98	1,47
isobutyl pentadecyl ester šťavelové kyseliny			18,04	10,26
methyl ester 12- methyltetradekanová kyselina	11,16	6,48	9,51	17,89
methyl ester 15-methyl-11- hexadekenová kyselina	5,98	3,47	18,04	17,11
methyl ester 2- hydroxyhexadekanové kyseliny	7,18	4,17	12,79	29,21
nonyl pentadecyl ester fumarové kyseliny	5,58	3,24	22,3	25,79
oktadecyl ester 9-hexadekenová kyselina	2,79	1,62	7,54	16,32
oktadecyl ester hexadekanové kyseliny	17,15	9,95	39,03	26,05
oktadecyl ester chloroctové kyseliny	9,57	5,56	7,22	16,32
oktadekanová kyselina	7,18	4,17	13,12	23,42
olejová kyselina	13,16	7,64	31,16	33,42
palmitoolejová kyselina	7,58	4,4	11,48	11,05
pentadecyl ester benzoové kyseliny			2,03	2,11
propenyl ester hexadekanové kyseliny	7,58	4,4	19,02	16,84
tetradecyl ester hexadekanová kyselina	10,37	6,02	29,52	30,00
tridecyl ester benzoové kyseliny			17,71	14,21
vanilínová kyselina			0,98	2,90
Acetáty, alkanoáty, oxirany (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
2,6-dihexadekanoát kyseliny askorbové	5,18	3,01	18,37	10,26
2-ethylhexylmethyloxiran			0,98	0,96
3-methoxy-2,2-dimethyloxiran			2,3	10,26
decyl ikosenoát	4,78	2,78	0,98	2,11
heptakosyl acetát			0,98	3,16
methyl 2-hydroxyeikosanoát	11,56	6,71	4,43	1,05
pyridinacetát	8,37	4,86	0,66	7,63
Steroly, sacharidy, anhydrosacharidy, terpeny (ug/g)	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
1,6-anhydro-2,4-dideoxy-beta-D- arabohexopyranóza			4,59	11,05

Aneta Pšenícová: Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových
desek

24-methyl- cholesta-3,5-dien-7-on	6,78	8,56	16,07	4,21
3-acetylpyrol (3-acetyl-1H-pyrroline) silice	1,2	0	5,25	7,11
7-oxodehydroabietová kyselina	0	9,26	12,46	12,89
adamantan	5,58	5,79	0	23,68
bicyklosekvifelandren			0	0,79
bis(2-ethylhexyl)ftalát	10,77	13,89	0	0,00
calacorene	0	1,85	0	0,00
cinamaldehyd			2,95	2,11
D-allosa	12,36	0	0	0,00
dehydrodiosgenin (saponin)	7,18	8,1	21,65	73,95
glukopyranosa (fragmenty sacharidů)	3,59	3,94	18,69	7,11
glycin	3,99	18,52	0	0,00
guanidin	13,96	0	0	0,00
homovanilínová kyselina	0	7,64	17,05	13,42
chloroisatin	4,39	3,01	0	0,00
isopinokarvenol			0	7,37
isopropyl myristát	2,79	0,46	43,29	6,05
kamfen			0	6,05
kamfolenal	0	1,85	9,84	4,21
karvon (terpen)	9,97	10,42	4,59	8,42
koniferylaldehyd	0	26,39	0	0,00
kopaen (sekviterpen)	0	2,31	0	55,53
kvarcetin	7,97	0	0	0,00
kymen	0	2,55	0	0,00
levoglukosan	21,93	0	42,31	55,00
limonen	0	0,93	17,05	2,11
longifolen			0	5,26
longipinan			0	1,05
L-prolin	7,58	2,78	0	0,00
methyldehydroabietát	15,15	21,99	7,87	8,16
methyldehydroabietová kyselina				16,05
murolen			0	37,63
myrtenal			0	6,84
pinen	0	4,17	0	8,68
pinokarvyl acetát			6,56	21,84
sitosterol	98,09	0	0	0,00
skvalen	106,46	101,62	557,2	403,16
stigmasta-3,5-dien	13,16	7,18	10,17	16,58
stigmasterol	11,16	3,47	0	28,16
syn-3-methyl butylaldoxim (terpen)	4,39	0	0	12,63

Aneta Pšenícová: Využití odpadních pilin z výroby laminovaných dřevotřískových
desek

terpineol	0	19,21	0	7,63
tokoferol	46,25	6,94	0	4,74
vanilín	3,99	3,24	6,23	5,53
ug/g	Dřevotříska	Překližka	Tvrdé dřevo	Jehličnaté dřevo
Znamá org.hmota	3619,15	2169,74	2987,62	2926,96
Neznámá org.hmota	362,85	349,5	722	868,00